

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior



Trabajo Fin de Grado

**Estudio General Sobre las Aplicaciones de los
Sistemas de Carga de Energía Eléctrica por
Pedaleo**

Autor: **Enrique Carretero Chacón**

Tutora: **Mónica Chinchilla Sánchez**

Octubre 2015



Agradecimientos.

En primer lugar me gustaría dar las gracias a **Mónica Chinchilla Sánchez** por toda la ayuda que me ha prestado durante toda la realización del trabajo, ya que sin ella no hubiera sido posible la realización de este proyecto fin de grado.

También agradecer a mis compañeros todos los momentos que vivimos en la universidad día tras día y verano tras verano, en especial a Blanca María Arenas, Jony Benítez, Sergio Calvo, Alberto Castellano, Jorge Descalzo y Laura De la Fuente, ya que sin ellos, esta etapa de la vida no hubiera sido lo mismo.

Por último, no olvidarme de todo el apoyo de mis padres, hermanos y amigos ajenos al ámbito universitario y **una mención especial a Ana María Santa Engracia Benito, que sin ella este último año no hubiera encontrado motivación.**

Resumen.

En el siguiente documento se estudia la viabilidad del uso de un prototipo de generación de energía eléctrica mediante pedaleo.

En este proyecto se estudiaron diferentes ensayos con cargas reales que abarcan desde bombillas led hasta un calentador de agua. Se parametrizan los datos y se procesan para valorar el estado de la carga de la batería principal. Otro parámetro a estudiar es la motorización del prototipo para intentar estimar la potencia ejercida por el sujeto para la generación estimando así el rendimiento global del sistema. Con estos ensayos se obtienen una serie de conclusiones que nos dan la viabilidad del prototipo.

A la hora de realizar los ensayos, se necesitaron diferentes materiales para lograr la exactitud de las pruebas, tanto a nivel de montaje como de aparatos de medida con los que tener una toma de datos correcta.

Abstract.

In the following document the feasibility of using a prototype generating electricity by pedaling is studied.

In this project different tests with real loads ranging from light bulbs led to a water heater were studied. Data are parameterized and processed to value the state of charge of the main battery. Other parameter to study is the prototype engine to try to estimate the power exerted by the subject to generate and estimating the overall system performance. With these tests a number of conclusions that give us the viability of the prototype are obtained.

When it comes to testing, different materials are needed for attaining the accuracy of the tests, at the level of assembly and of measuring the take to have a correct data.



INDICE PRINCIPAL.

1.- INTRODUCCIÓN.	13
1.1.- Objetivo.	13
1.2.- Introducción a la Energía por pedaleo	14
1.2.1.- Inicios de la generación de la energía por pedaleo	14
1.2.2.- Unidades de energía.	16
1.2.3.- Combustible humano.	18
1.2.4.- Comparación de otros sistemas de generación frente al humano.	21
1.2.5.- Estudios anteriores de generación por pedaleo o bombeo.	23
1.3.- Estructura del proyecto.	25
2.- DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO.	26
2.1.- Componentes del sistema generador.	26
2.1.1.- El generador de energía.	26
2.1.1.1.- Caracterización del generador.	27
2.1.2.- El rectificador de corriente.	33
2.1.3.- El regulador de carga.	36
2.1.4.- Sistema de transmisión y otros componentes.	38
2.2.- Motorización del prototipo.	42
2.2.1.- Componentes del sistema.	42
2.2.1.1.- Motor eléctrico.	42
2.2.1.2.- Controlador.	44
2.2.1.3.- El acelerador.	45
2.2.1.4.- Baterías de alimentación.	46
2.2.1.5.- Pulsador de alimentación de motor	47
2.2.1.6.- Otros componentes.	48
2.2.2.- Instalación del prototipo para la motorización.	49
3.- TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS. RESULTADOS EXPERIMENTALES.	53
3.1.- Datos de pedaleo manual.	53
3.1.1.- Carga de batería en periodos largos de pedaleo.	59
3.1.1.2.- Carga con 12.31 Voltios iniciales.	59



3.1.1.2.- Batería con 11.77 Voltios iniciales.	66
3.1.2.- Descarga de batería sobre diferentes cargas.	71
3.1.2.1.- Descarga sobre calentador de agua con 12,50 V.	72
3.1.2.2.- Descarga de batería sobre nevera con 12,33 V.	74
3.1.2.3.- Descarga de batería con leds y cargador de móvil conectado con 12,32 Voltios.	76
3.1.3.- Carga de baterías en periodos largos de pedaleo con diferentes cargas.	78
3.1.3.1.- Batería con carga inicial 12.21 Voltios y nevera conectada.	78
3.1.3.2.- Carga de batería con 12,19 Voltios, cargador de móvil y leds conectados.	85
3.1.3.3.- Carga de batería con 12.20 Voltios, cargador de móvil, leds y nevera.	91
3.2.- Datos pedaleo motorizado.	97
3.2.1- Calculo estimado de la potencia del sujeto.	97
3.2.1.- Calculo del rendimiento del regulador.	101
4.- CONCLUSIONES FINALES Y TRABAJOS FUTUROS.	103
BIBLIOGRAFÍA.	106
ANEXOS.	107



INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Telégrafo de Alfred Traeger. [1].....	14
Ilustración 2: Generador de pedal Weza Portable Energy Source. [1]	15
Ilustración 3: Ensayo en vacío del generador. [7].....	29
Ilustración 4: Ensayo en cortocircuito del generador. [7].....	30
Ilustración 5: Impedancia síncrona. [7].....	31
Ilustración 6: Circuito equivalente del generador. [7]	32
Ilustración 7: Esquema rectificador con condensador. [6].....	33
Ilustración 8: Forma de onda y ángulo de diodos de un rectificador trifásico. [6]	33
Ilustración 9: Rectificador de corriente del laboratorio. [7]	34
Ilustración 10: Diodos con disipador de potencia.....	35
Ilustración 11: Regulador de carga de baterías. [7]	36
Ilustración 12: Diodo protector.	37
Ilustración 13: Sistema de transmisión del prototipo. [7]	39
Ilustración 14: Tensor de cadena. [7].....	40
Ilustración 15: Bicicleta estática inicial. [7].....	41
Ilustración 16: Motor eléctrico sin conjunto planetario. [8]	42
Ilustración 17: Motor eléctrico con conjunto planetario. [8]	43
Ilustración 18: Controlador del motor. [8]	44
Ilustración 19: Acelerador de tipo “gatillo” antes de la modificación. [8] .	45
Ilustración 20: Modificador del acelerador.....	45
Ilustración 21: Batería para alimentación de motor.....	46
Ilustración 22: Interruptor de alimentación.....	47
Ilustración 23: Manetas de freno [8]	48
Ilustración 24: Sensor de pedaleo PAS. [8]	48
Ilustración 25: Apoyo del motor antes de la instalación.....	49
Ilustración 26: Unión entre motor y estructura de bicicleta.....	49
Ilustración 27: Motorización completa.	50
Ilustración 28: Conexiones del controlador. [8].....	51
Ilustración 29: Circuito eléctrico del motor.	52
Ilustración 30: Multímetro digital.	53
Ilustración 31: Velocímetro.....	54
Ilustración 32: Dispositivo de toma de datos.....	55
Ilustración 33: Cargador de baterías de móvil	55
Ilustración 34: Luces leds.....	56
Ilustración 35: Nevera de portátil.....	56
Ilustración 36: Calentador de agua.....	57



Ilustración 37: Batería de 44 Ah y 12 V.	57
Ilustración 38: Esquema de Carga de baterías.	59
Ilustración 39: Tensión de generación. 12.31 V iniciales.....	61
Ilustración 40: Tensión en batería. 12.31 V iniciales.....	61
Ilustración 41: Velocidad de generador y velocidad sujeto. 12.31 V iniciales.....	62
Ilustración 42: Potencia en la batería. 12.31 V iniciales.....	64
Ilustración 43: Potencia de generación. 12.31 V.	64
Ilustración 44: Tensión de Generador. 11,77 V iniciales.....	66
Ilustración 45: Tensión de Batería. 11,77 V iniciales.....	67
Ilustración 46: Velocidad de generador y del sujeto. 11,77 V iniciales.	68
Ilustración 47: Potencia del generador. 11,77 V iniciales.	69
Ilustración 48: Potencia de la batería. 11,77 V iniciales.....	69
Ilustración 49: Esquema general de descarga.	71
Ilustración 50: Tensión de la batería. Descarga sobre calentador.....	72
Ilustración 51: Tensión de batería. Descarga sobre nevera portatil.	74
Ilustración 52: Tensión de Batería. Descarga sobre Leds y Cargador de móvil.....	76
Ilustración 53: Esquema de carga de batería con nevera.	78
Ilustración 54: Tensión de generación con nevera conectada.....	80
Ilustración 55: Tensión de Batería con nevera conectada.....	80
Ilustración 56: Tensión en la carga.	81
Ilustración 57: Velocidades del generador y del sujeto. Nevera conectada.	82
Ilustración 58: Potencia del generador con nevera.	83
Ilustración 59: Potencia en la batería con nevera.....	83
Ilustración 60: Potencia en la carga.	84
Ilustración 61: Esquema con leds y cargador de móvil.	85
Ilustración 62: Tensión en la batería. Leds y cargador de móvil conectados.	86
Ilustración 63: Tensión en el generador. Leds y cargador de móvil conectados.	86
Ilustración 64: Tensión en la carga.	87
Ilustración 65: Potencia en la batería. Leds y cargador de móvil conectado.	88
Ilustración 66: Potencia en el generador. Leds y cargador de móvil conectados.	88
Ilustración 67: Potencia en las cargas.	89
Ilustración 68: Velocidades del generador y del sujeto	90



Ilustración 69: Esquema con tres cargas y batería con 12.20 V de inicial.	91
Ilustración 70: Tensión en Batería. Leds, cargador y nevera conectados...	92
Ilustración 71: Tensión en el generador. Leds, Cargador y nevera conectados.	92
Ilustración 72: Tensión en la carga.	93
Ilustración 73: Potencia en la batería. Leds, cargador y nevera conectados.	94
Ilustración 74: Potencia en el generador. Leds, cargador y nevera conectados.	94
Ilustración 75: Potencia en las cargas.	95
Ilustración 76: Velocidades de generador y sujeto. Leds, cargador y nevera conectados.	96
Ilustración 77: Potencia eléctrica vs rendimiento.	97
Ilustración 78: Esquema eléctrico motor más generador.	98



INDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Ratios de potencias de electrodomésticos. [1]	17
Tabla 2: Actividad/Duración/Potencia [1]	20
Tabla 3: Comparación de potencia de diferentes animales. [1]	21
Tabla 4: Comparación de potencial de energía y eficiencia. [1].....	22
Tabla 5: Tabla de rendimiento de motor y cadena.....	99
Tabla 6: Tabla de rendimiento generador.	99
Tabla 7: Potencias del ensayo sin motor.....	100
Tabla 8: Tabla de rendimiento regulador.....	102



1.- Introducción.

1.1.- Objetivo.

El proyecto que engloba esta memoria está contenido en la labor del grupo de tecnologías apropiadas de la Universidad Carlos III de Madrid. Este grupo se centra en resolver varios problemas en las sociedades con una menor economía y conseguir lograr un desarrollo sostenible en estas sociedades. Se centran tanto en la organización a nivel laboratorio en la universidad como ayuda a diferentes ONG.

Este grupo tiene diferentes líneas de trabajo y esta es la que corresponde a la producción de energía eléctrica. El estudio se lleva a cabo en el laboratorio situado en el edificio número 1 de la universidad en el campus de Leganés (Avenida de la universidad, 25) concretamente en el 1.0.H02 bis.

El prototipo del laboratorio está destinado a la generación de energía por pedaleo. Este prototipo se crea con el fin de poder abastecer a zonas en las que el acceso a la energía primaria es limitado o nulo, principalmente orientado a sociedades con un nivel de economía bajo, como países en proceso de desarrollo o subdesarrollados. Por eso, pretende ser un generador económico y rentable a la par que compacto y fácil de usar, ya que su creación es a través de productos reciclados (excepto compra del generador y algún equipo auxiliar), ocupa poco espacio y es fácil subir en él y pedalear a la velocidad de generación sin mucho esfuerzo.

Este proyecto tiene como objetivo dar continuidad a la creación de este prototipo viendo cuáles son sus aplicaciones en sistemas reales y con cargas reales que se pueden tener en la vida cotidiana; cosas tan sencillas como por ejemplo calentar agua, mantener frío el alimento, iluminación y cargas de baterías menores para uso en telecomunicaciones básicas.

También se propone como objetivo intentar caracterizar el prototipo más profundamente introduciendo una motorización para simular el pedaleo del sujeto y así poder llegar a estimar que potencia está ejerciendo el sujeto a diferentes velocidades de generación.

1.2.- Introducción a la Energía por pedaleo

1.2.1.- Inicios de la generación de la energía por pedaleo

Sobre la generación de energía mediante pedaleo hay poco estudiado y trabajado, por lo que es difícil la obtención de datos de partida con una viabilidad buena. El estudio se basará en los datos obtenidos de las referencias indicadas que están dispersos, de manera, fácil, resumida y ordenada. [1]

Desde la invención de la energía eléctrica el ser humano tuvo inquietud por cómo lograr conseguir esta energía de manera fácil y rápida. Al principio los sistemas manuales de generación eran sistemas de movimiento giratorio activados por manivelas. Estos datan de 1832 pero no es hasta el siglo diecinueve cuando tiene más evolución, sobre todo en el ámbito militar. Destaca el telégrafo de manivela manual con dos operarios y el diseño del ingeniero australiano Alfred Traeger para la utilización con un solo operario. Este modelo constaba ya de un movimiento mediante pedaleo que dejaba las manos libres para la utilización del telégrafo con un solo operario.



Ilustración 1: Telégrafo de Alfred Traeger. [1]

Aun en la actualidad se siguen utilizando generadores de este tipo para alimentar receptores de satélites GPS y telefonía móvil, etc., cuando no se tiene acceso a fuente de energía primaria.

Más adelante, el grupo Freeplay fabricó un sistema accionado por pedal (Weza Portable Energy Source) el cual conseguía cargar una batería de ácido-agua de 12 voltios en corriente continua por un precio de alrededor de 300 dólares; aun en la actualidad se sigue utilizando este dispositivo.

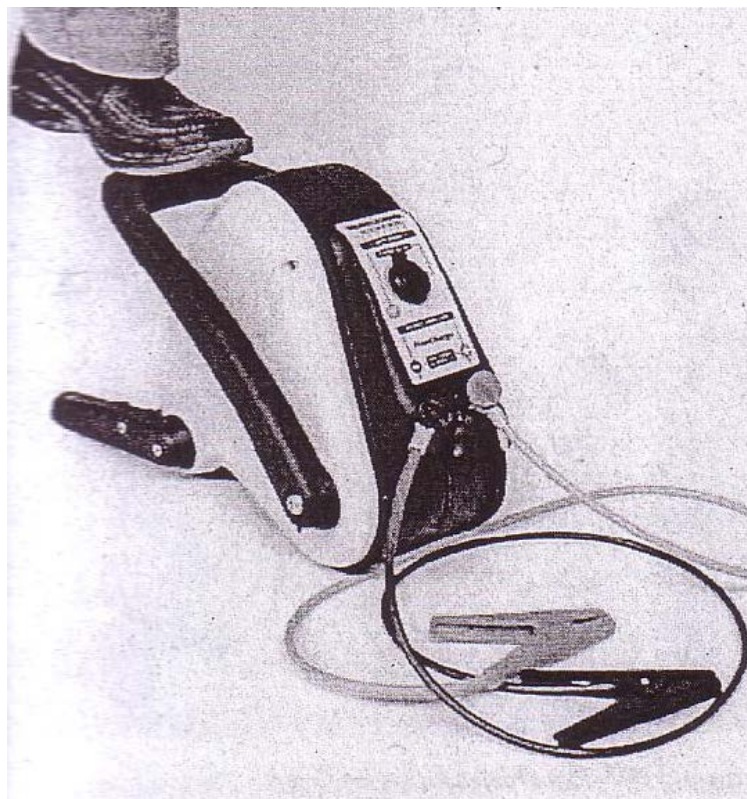


Ilustración 2: Generador de pedal Weza Portable Energy Source. [1]

Con la inquietud por la energía despreciada con el movimiento del cuerpo, como por ejemplo, al andar, o simplemente al respirar con el movimiento del pecho, así como escribir o mecanografiar, se empiezan a desarrollar una serie de piezoeléctricos que al contraerse generen debido a su composición una diferencia de potencial y esto un voltaje.

Ejemplos de esto, es la implantación de los piezoeléctricos en zapatos que generan contracción con la pisada o a través de los movimientos de los brazos al andar. Esta forma

es así se aprovecha la energía cinética asociada al balanceo de masas conectadas a las extremidades.

Otro método de transformar energía del cuerpo es utilizando y transformando la energía química del cuerpo en energía eléctrica. La empresa Panasonic está experimentando con los electrones liberados en la generación de glucosa en la sangre. Estos electrones serían atrapados por unos bio-nano generadores de energía circulando por el torrente sanguíneo y tendría un gran avance sobre todo a nivel de dispositivos médicos. En el año 2000 investigadores de la universidad de Cornell presentaron un motor biomolecular construido en níquel. Este constaba de 750 nanómetros de largo y 150 nanómetros de diámetro y podía girar a 8 revoluciones por segundo. Una de los principales potenciales de esta tecnología sería la administración de fármacos.

1.2.2.- Unidades de energía.

Empezaremos entendiendo las unidades en las que se hablan en los siguientes apartados. Para generar un trabajo se necesita ejercer una fuerza en una distancia determinada, es decir que las unidades del trabajo son:

$$\frac{kg \cdot m^2}{s^2} = N \cdot m$$

Pero en el sistema internacional se utiliza más el Julio (J).

Para determinar cómo trabajan los músculos del cuerpo, es necesario saber el concepto de potencia, la potencia es la cantidad de trabajo que se efectúa en la unidad de tiempo básica. Por lo tanto se define la potencia como:

$$\frac{kg \cdot m^2}{s^3} = \frac{J}{s}$$

Los julios por segundos equivalen a un vatio (W). Más comúnmente conocidos son los kilovatios (kW).

Las unidades para la energía son las mismas que para el trabajo, es decir Julios.

Para determinar el consumo en vatios que tiene un aparato en concreto, se utiliza un vatímetro. Este aparato consta de varias partes que consiguen darnos la medida sabiendo que la potencia consumida por un aparato eléctrico es la tensión a la que está conectado

y la intensidad que le llega al aparato. Para ello consta de unas bobinas fijas que se conectan en serie para medir intensidad y otras bobinas variables conectadas en paralelo para medir tensión. También existen otro tipo de vatímetros, los electrónicos, algo menos fiables y que se basan en la diferencia de potencial existente entre dos placas separadas por un dieléctrico.

En la siguiente tabla se puede ver el consumo de las aplicaciones más comunes para hacerse una idea aproximada, ya que el consumo de cada elemento depende de varios factores como pueden ser que el número de vatios que utiliza instantáneamente (no siempre está operando a potencia máxima), algunas aplicaciones como ver la tv o escuchar la radio tienen un consumo en transformadores de corriente alterna en continua que no son tenidos en cuenta o la potencia necesaria para amplificar la señal de salida, como por ejemplo subir el volumen de la radio hace aumentar el consumo.

Aplicación	Potencia utilizada en operación (W)
Reloj	2-5
Ordenador portátil	10-20
Impresora	50-75
Ventilador	20-100
Radio	30-100
Televisión de color (19" a 34")	100-300
Televisión de plasma (50")	300-400
Refrigerador (Corriente continua)	500-600
Lavadora	500-900
Microondas	750-2000
Tostadora	1000-1500
Aspiradora	1000-2000
Secadora	4000-5000

Tabla 1: Ratios de potencias de electrodomésticos. [1]

Cuando se habla de generación mediante movimiento del cuerpo humano se ha de tener en cuenta que dicho cuerpo está necesitando un gasto energético mínimo para funcionar. Es decir, lo ideal es que toda la energía que del cuerpo se puede obtener, sea transformada en energía útil. Nos encontramos con que esto no es así y que el cuerpo necesita un consumo mínimo del cuerpo para poder funcionar y también el problema de

que todos los cuerpos no necesitan el mismo gasto energético, es decir, entran a formar parte factores como la edad, el tamaño del individuo, el sexo del mismo, etc.

Nos encontramos entonces que el ser humano puede llegar a obtener una energía útil de aproximadamente entre un tercio y un quinto, pero hay que tener en cuenta que el potencial de este tipo de energía, ya que puede obtener un pico máximo similar al de otro tipo de energía fósiles.

1.2.3.- Combustible humano.

Para entender como el ser humano transforma la energía química en energía mecánica útil en los músculos, vamos a intentar explicar cuál es el combustible y como lo transforma el cuerpo en sus diferentes fases de trabajo.

El combustible básico del cuerpo humano es la adenosina trifosfato, más conocida como ATP. Para generar este combustible, el cuerpo tiene tres vías principales de generación.

La primera es mediante la síntesis de fosfato de creatina, que combinada con otras sustancias del cuerpo, sobre todo hay que destacar la relevancia de fosfato en esta reacción, forman la adenosina difosfato o ADP, que justo después crea ATP para mover el musculo. Este tipo de formación de ATP es de consumo rápido para movimientos repentinos del musculo y dura aproximadamente entre 10 y 20 segundos.

La segunda forma de obtener el ATP es mediante un proceso llamado glucolisis y entra en juego cuando se acaba la creatina. Este proceso utiliza la glucosa que se encuentra en los músculos. En este proceso de generación tiene una duración aproximada entre dos y tres minutos, esto no sirve para hacer una maratón, pero si para una carrera corta. Como en el proceso de glucolisis no se necesita consumo de oxígeno, es típicamente llamado anaeróbico.

La tercera es la más importante y la que nos compete en este proyecto, por la duración de las pruebas realizadas. En este proceso, entra en juego el oxígeno, por lo que el proceso pasa a llamarse aeróbico. Este proceso es el mismo que para obtener ATP de la segunda forma, es decir, es un proceso de glucolisis pero en presencia de oxígeno. Los azucares y las grasas almacenadas en otra parte del cuerpo son llamadas para generar el combustible. El oxígeno ayuda a romper los niveles más bajos de cualquier glucógeno,

que vienen desde el hígado y los intestinos (que vienen derivados de la comida). También puede generar ATP a partir de los ácidos grasos de las reservas que tiene el cuerpo. Esta conversión de creatina de fosfato o glucólisis mediante la oxidación puede dar alimentar tus musculo durante mucho tiempo.

El musculo es capaz de generar aproximadamente unos vatios por kilo de masa, es decir es muy poderoso, pero, en verdad la eficiencia es en torno al 25% de la energía de salida, ¿Esto a que se debe? Pues principalmente se debe una serie de limitaciones que tiene el cuerpo, de la duración del ejercicio y de la intensidad del mismo.

Recordamos que el combustible se genera mediante el oxígeno en adición con las grasas y los azucares del cuerpo. Para el transporte del oxígeno y del combustible se necesita la sangre, es decir, el bombeo del corazón y de la capacidad de nuestros pulmones para llenarse de aire, tanto en volumen como en rapidez. Entonces podemos deducir que la eficiencia de los músculos viene dada por la capacidad del corazón y de los pulmones o sistema respiratorio.

La tasa a la cual el cuerpo puede consumir oxigeno durante un ejercicio es la medida más correcta para medir la energía que puede generarse durante el ejercicio de larga duración, a esta medida se le llama comúnmente volumen máximo de oxigeno o VO_{2max} .

Ahora es cuando se entiende que cada cuerpo pueda generar más o menos potencia de salida es en base a la dependencia del sexo o la edad, el nivel de entrenamiento, etc. El VO_{2max} de cada individuo se puede entrenar mediante diferentes procedimientos de entrenamiento aeróbico. Como dato aproximado, se puede estimar que la generación de energía de un atleta entrenado a una persona normal varía en torno a 400 y 100 vatios respectivamente.

En la siguiente tabla se puede observar un ejemplo de las diferentes actividades cotidianas y la potencia de salida. (Los rangos son aproximados).

Actividad	Duración de la prueba (Minutos)	Potencia de salida (vatios)
Respiración	Ilimitado	1-1
Apretar una palanca	Más de 60	4-12
Tirar de una cuerda larga	Ilimitado (tirones repetidos)	10-25
Pedalear	1	400-500
Pedalear	30	300-400
Pedalear	Más de 60	225-300
Remar	1	600-750
Remar	5	350-380

Tabla 2: Actividad/Duración/Potencia [1]

Se pueden seguir una serie de pautas para tener una buena generación de energía, ya que no se puede predecir el gasto del cuerpo, pero no se puede aproximar.

Para empezar, el musculo siempre tiene que estar en movimiento. Para poder imaginar este apartado se puede poner el ejemplo sencillo, sostener un vaso de agua, no se genera nada y el musculo se cansa rápido. También tener el musculo en movimiento ayuda al flujo de oxígeno por él. Se continúa con la cadencia, en este caso de pedaleo, del musculo en largos periodos de tiempo, se deben de mantener unas revoluciones óptimas para la generación y el agotamiento del musculo. También se tiene que tener en cuenta que si se quiere tener mayor obtención de potencia se tiene que trabajar con los pies y dejar las manos libres. Tener el cuerpo fresco e hidratado todo el tiempo del ejercicio ayuda a obtener mejores resultados, así como una buena posición para la realización. Por último y más importante es el nivel de entrenamiento, cuanto más entrenado estés, mejor VO₂max se tiene y mejores resultados se obtienen, ya que se podrá hacer el ejercicio durante tiempo de duración mayores.

1.2.4.- Comparación de otros sistemas de generación frente al humano.

Hay que tener en cuenta que la generación que produce el cuerpo es muy poco eficiente respecto a otros sistemas de generación. Al principio se usaban animales de tiro para las diferentes tareas ya que estos tienen mayor capacidad muscular y pueden obtener más energía mecánica de salida. Pero poco a poco estos animales de tiro se fueron sustituyendo por otros sistemas de generación de energía mecánica impulsados por combustibles fósiles, como por ejemplo, tractores, con los cuales se conseguían 600 caballos de potencia respecto a los 5 de máxima de los animales de tiro, aunque en este caso se tiene que tener en cuenta los diferentes consumos extra que ello conlleva como son las reparaciones de la máquina, el pago al operario que la usa o como principal, el combustible utilizado.

Se puede ver en la tabla la potencia media que producen los diferentes animales respecto a su peso.

Animal	Peso (kg)	Caballos de potencia(Aprox)
Buey	498-900	0.75
Vaca	400-598	0.45
Caballo	400-698	1.00
Mula	350-498	0.35
Mono	200-300	0.67
Camello	450-498	0.67
Hombre	60-90	0.10

Tabla 3: Comparación de potencia de diferentes animales. [1]

En esta tabla se puede observar lo que se comenta sobre la eficiencia tan pobre de la energía del cuerpo humano respecto de otro tipo de energías. Todos estos rangos de eficiencia son estimados en base a diferentes pruebas.

Fuente de energía o lugar de almacenamiento	Potencial de energía (Vatios)	Eficiencia de operación
Batería AA	3 por hora	85-95%
Humano pedaleando	75-150	15-25%
Motor de carro de golf	150-600	90-97%
Aerogenerador	300-5000	30-50%
Celdas fotovoltaicas	70-150(Por metro cuadrado)	10-30%
Horno de gas natural	5000-25000 (por hora)	90-97%
Motor de gasolina (Coche)	40000-200000	15-25%
Gran planta de energía de mareas	100000000-250000000	80/85%
Gran planta de carbón	500000000-1000000000	35-45%
Reactor nuclear	1000000000-1300000000	32-50%
Presa Hoover (rio Colorado)	2074000000	90%

Tabla 4: Comparación de potencial de energía y eficiencia. [\[1\]](#)

1.2.5- Estudios anteriores de generación por pedaleo o bombeo.

En cuanto a la evaluación de la potencia humana se presentan varias discrepancias a lo largo de la historia entre los diferentes autores que hay. A continuación se muestra de manera cronológica los diferentes estudios de los autores y sus opiniones en modo resumen. [2]

O'Hea en 1983 fue uno de los primeros en estudiar la potencia humana, en este caso en bombas manuales, el cual formula considerando el efecto del tiempo de la prueba y del peso del ejecutante. Más tarde se publicaron los estudios de Hofkes de 1981 por Fraenkel en 1986 en un libro de alta difusión. En él se considera que un ciclista entrenado pueda dar 400 vatios mecánicos en un tiempo de más de un hora, mientras que una persona adulta en buena forma física llegaría a dar entre 50 y 150 vatios.

Grandjean en 1988 asegura que la conversión de la energía en energía mecánica útil se encuentra entre el 20 y el 25 por cierto, en este caso el máximo de aprovechamiento sería para una bicicleta lo que para él, partiendo de una potencia sostenible de 300 vatios se obtendrían 75 vatios útiles en la salida para una jornada de 8. Este autor expone que en el peor de los casos y usando una bicicleta con 250 vatios y treinta minutos de descanso entre las pruebas ofrece una potencia media útil de 30 vatios por hora.

En el FAO del año 2000 se considera que un ejecutante en buena forma física puede usar de forma continuada una generación de energía de entre 250 y 300 vatios todo ello dependiendo de las condiciones del clima y considerando periodos de descanso de entre 10 y 30 minutos por hora de ejercicio. Estos datos son el doble que los expuestos por Hofkes en 1981.

Avallone en el 2007 deduce en sus estudios varias correlaciones de forma potencial o logarítmica en función del tiempo, la edad del ejecutante o, en este caso, la ejecución del ejercicio con los brazos y piernas y una forma específica solo para el pedaleo. Avallone en los estudios publicados por Fraenkel en 1986.

Gilmore en 2008 aporta datos de fuentes diversas, que van desde estudios fisiológicos hasta la publicidad de fabricantes de sistemas de aprovechamiento de la energía humana, los cuales se mueven entre 50 y 200 vatios. Así bien, Gilmore obtiene energías diarias disponibles de 840 kJ pedaleando que distribuidos en una jornada de ocho horas arroja una potencia media de 30 vatios. Para duraciones menores de aproximadamente dos horas se obtiene 110 vatios de media. En este caso, Gilmore habla de una dieta adecuada del ejecutante para dar este máximo disponible, en este caso, Freankel estima algo más, entre 720 y 1100 kJ al día. En los estudios de Tiwari de 2011 considera una energía mecánica de 60 vatios en la salida a razón de pedalear a 50 revoluciones por minuto.

Fuller y Ave en el 2012 utilizan datos de diferentes fuentes para llegar a estimar potencias mecánicas de pico de 250 vatios durante pocos segundos. Cuando hablan de actividades intensivas se puede obtener entre 75 y 150 vatios mecánicos con intervalos de reposo que no están computados en el estudio.

Llegados a este punto se puede observar la gran dispersión de datos que hay entre los diferentes autores y los diferentes estudios realizados. En este punto se puede deducir que esto es debido al entorno y la fisiología de los ejecutantes en los diferentes estudios, así influirían en las pruebas las condiciones meteorológicas, la alimentación, edad y peso. Tampoco se tienen datos de sobre qué se hace el estudio, pues rara vez se especifica si es sobre bicicleta o sobre otro tipo de mecanismo, así como sus características ergonómicas y la relación fuerza-velocidad que se tiene que imponer al mecanismo. Los factores como la edad o el peso son muy importantes en la ejecución, sobre todo en zonas empobrecidas, pero en cambio la mayoría de los estudios anteriormente expuestos mantienen el peso de forma lineal con la potencia obtenida. Hay que tener en cuenta la energía que se disipa en el mantenimiento metabólico basal, así el FAO del 2003 estima que el gasto durante las actividades es de 4,4 veces el basal, pero en este caso volvemos a la importancia del aporte energético de la dieta que el ejecutante mantiene en su vida cotidiana.

1.3.- Estructura del proyecto.

El proyecto tendrá tres partes estructuradas.

- Una primera parte centrada en la comprensión del prototipo así como las mejoras aplicadas en él y la resolución de los diferentes problemas a la hora de hacer las pruebas. También se explicará la colocación del motor eléctrico en el prototipo en el lugar más idóneo para la sujeción.
- La segunda se centrará en el estudio de diferentes ensayos que ayuden a comprender al prototipo a nivel de carga y descarga de una batería convencional así como el comportamiento del sistema cargas-baterías-generador y su capacidad de producir energía eléctrica a través del pedaleo que pueda suministrar la demanda que se tiene en las cargas y la batería.
- Esta tercera parte del proyecto se centrará en la estimación de la potencia instantánea que suministra el sujeto cuando se pedalea a cierta velocidad. Esto se consigue instalando un motor totalmente caracterizado y comparando el mismo ensayo con el pedaleo del sujeto. Así se puede estimar el rendimiento del generador y con él poder ver en el ensayo manual cual es la potencia que el sujeto tiene que ejercer para mover el sistema.

2.- Descripción del prototipo.

2.1.- Componentes del sistema generador.

En este apartado, se explicarán todos los componentes del el prototipo de generación en todos sus componentes para entender todo su funcionamiento [7]. También explicaremos los componentes que se necesitaron para la motorización del prototipo y el sistema para controlar la velocidad del motor.

2.1.1.- El generador de energía.

Dentro de los componentes del prototipo en el laboratorio, este es el más importante. Es el encargado de transformar la energía mecánica producida por el pedaleo en energía eléctrica y lo hace mediante sus dos partes principales, el rotor, que es la parte móvil, y el estator, que es la parte fija.

Con una cadencia de pedaleo normal, tenemos en el eje pedalier en torno a 70-100 rpm. La relación de transformación (piñones-plato) del prototipo, como se verá es aproximadamente de 6 a 1, por lo que se conseguirán en el eje del generador 400-600 rpm. Se pretende encontrar un generador cuyo punto de trabajo nominal, se encuentre cerca de estas revoluciones. No es muy común, pues suelen girar a un número mayor de revoluciones. Los generadores síncronos multipolares son los que tienen una velocidad de giro nominal menor, y será el tipo de generador integrado en el prototipo.

El estator es el componente fijo de la máquina y es el encargado principal de transmitir la corriente eléctrica generada y tiene diferentes configuraciones dependiendo de cómo esté configurada la máquina. En máquinas de corriente alterna es una estructura cilíndrica hueca de láminas de acero apiladas para reducir las pérdidas como en el rotor. Y la última forma es la que nos interesa en este apartado, que es cuando la máquina se comporta como generador y no como motor. La construcción es la misma que la del motor pero en este caso el estator interactúa con el campo para generar corriente.

El rotor es el componente que gira en la máquina. Dentro de los generadores síncronos se tienen los de bobinado de excitación y los de imanes permanentes. Los primeros

necesitan una bobina de excitación para generar campo magnético, ocupando más espacio que los imanes para una densidad de flujo equivalente y por lo tanto no son idóneos para el prototipo.

Por lo tanto el generador que porta el prototipo es uno de imanes permanentes situados en el rotor que suministran un campo de excitación constante; el generador seleccionado dispone de 12 de imanes de Neodimio. Una de las principales aplicaciones industriales de los generadores síncronos de imanes permanentes es en generación eólica; existen desde generadores de pocos vatios hasta de Gigavatios; el generador que monta el prototipo es de microeólica de 500 vatios de potencia.

Con la relación de piñones que tiene el prototipo, el cual se explicará en el apartado 2.1.4, se obtendrán unas 300-500 revoluciones en el eje efectivas; el punto de trabajo nominal del generador se asemeja a este rango de revoluciones por minuto. También se sabe, tras lo explicado en el apartado 1.2.2, que un adulto con una alimentación normal puede entregar entre 150 y 400 vatios, dependiendo de su nivel de entrenamiento. Por este motivo la máquina que se monta en el prototipo es de 500 vatios.

También hay que decir que este tipo de generador tiene una ventaja muy grande a nivel de mantenimiento y sencillez de la máquina, ya que al no tener el devanado inductor ahorramos todo el desgaste de piezas como las escobillas y los anillos rozantes que sufren mucho desgaste.

2.1.1.1.- Caracterización del generador.

Una vez que se selecciona el generador, se pasa a caracterizarlo haciendo los debidos ensayos para el cálculo de su circuito equivalente. [3]

- Cálculo de la resistencia de los arrollamientos.

Para calcular esta resistencia en los arrollamientos, se pasa a alimentar entre dos bornes de la máquina con corriente continua de manera que se obtiene el siguiente resultado al aplicar la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1\text{ V}}{0,53\text{ A}} = 1,88\ \Omega$$

Se supone que los arrollamientos del generador están conectados con una configuración en estrella, esto se consigue conectando los terminales negativos de las bobinas en el punto común, denominado neutro, y los terminales positivos se conectan a las fases, entonces la resistencia es la mitad a la medida anteriormente y quedaría:

$$R = 0,94 \, \Omega$$

- Ensayo en vacío de la máquina.

En este ensayo se alimenta el devanado inductor con corriente continua constante y se hace girar el rotor con un motor acoplado al eje hasta alcanzar la velocidad de sincronismo. Una vez así, se aumenta a la corriente en el devanado inductor y se mide el valor de la tensión inducida en cada fase con el circuito abierto, es decir, la máquina trabajando en vacío.

Con este ensayo se consigue la curva característica en vacío del alternador, que es el valor eficaz de la tensión en bornes del generador en circuito abierto y la intensidad que tiene el rotor.

El generador es de imanes permanentes y no se dispone de circuito de excitación en el rotor y en su lugar tiene imanes contruidos con Ne-Fe-Bo que son los encargados de generar el flujo magnético al girar. Esto hace que en los arrollamientos del estator aparezca una fuerza electromotriz (F_{em}). Entonces a la hora de hacer el ensayo se procede variando la velocidad de giro del rotor y midiendo la tensión que aparece en los bornes del estator, que al ser en vacío y no circular corriente coincide con la F_{em} .

Una vez hecho el ensayo se tiene la siguiente curva característica de vacío:

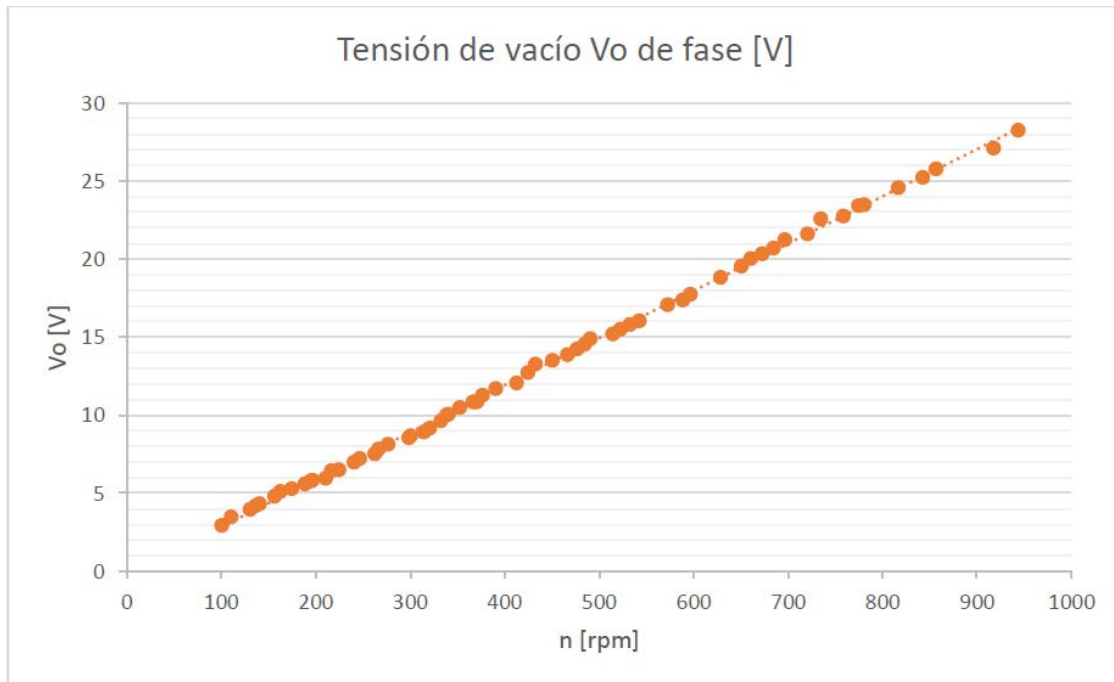


Ilustración 3: Ensayo en vacío del generador. [7]

Normalmente las gráficas de los ensayos suelen tener dos zonas diferenciadas, una zona lineal en la cual la relación entre las revoluciones (n) y la Fem (V_o) es lineal y otra zona de saturación, en la cual, si aumentamos las revoluciones por minuto del generador no aumenta la tensión de salida del generador (V_o) en la misma proporción, si no en menor. Esto es debido a una restricción del material, el circuito magnético entra en saturación y no puede generar más flujo. Este fenómeno se puede apreciar en la curva de ciclo de histéresis del material. En este caso, se observa que no existe la zona de saturación para este generador aun aumentando hasta casi un 50% las revoluciones por minuto nominales (600 rpm para este generador).

- Ensayo en cortocircuito.

Para realizar este ensayo, se cortocircuitan los terminales del generador y se aumenta la velocidad de la máquina observando la corriente que está circulando por el cortocircuito.

Como el generador es de imanes permanentes se procede a aumentar la velocidad del rotor en vez del aumento progresivo de la corriente de excitación, como en el ensayo anterior.

Esta prueba da una curva característica que se observa a continuación:

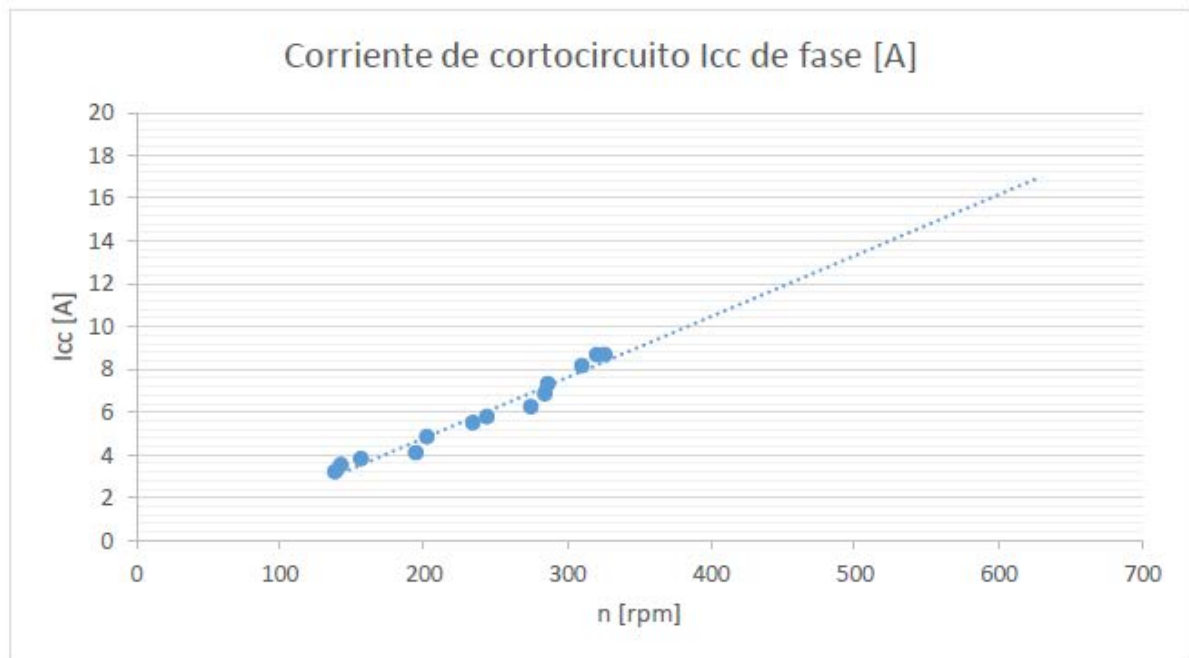


Ilustración 4: Ensayo en cortocircuito del generador. [7]

En este caso el circuito es totalmente inductivo, esto significa que la fmm de reacción de inducido se opone a la fmm del inductor. Esto provoca una reacción desmagnetizante que reduce la fmm resultante en la salida.

Este efecto hace que la máquina se comporte como un freno y no se puedan alcanzar las velocidades angulares deseadas para el ensayo. Aun así, a las velocidades que se puede trabajar se observa que el comportamiento es lineal y se extrapolan los demás valores para así ver la evolución y poder relacionarla con la tensión de vacío para poder obtener la impedancia síncrona.

- Cálculo de la impedancia síncrona.

Con las curvas características de tensión en vacío y tensión en cortocircuito, ambas obtenidas por cada fase, se puede obtener el valor de la impedancia síncrona de la máquina que a continuación se muestra.

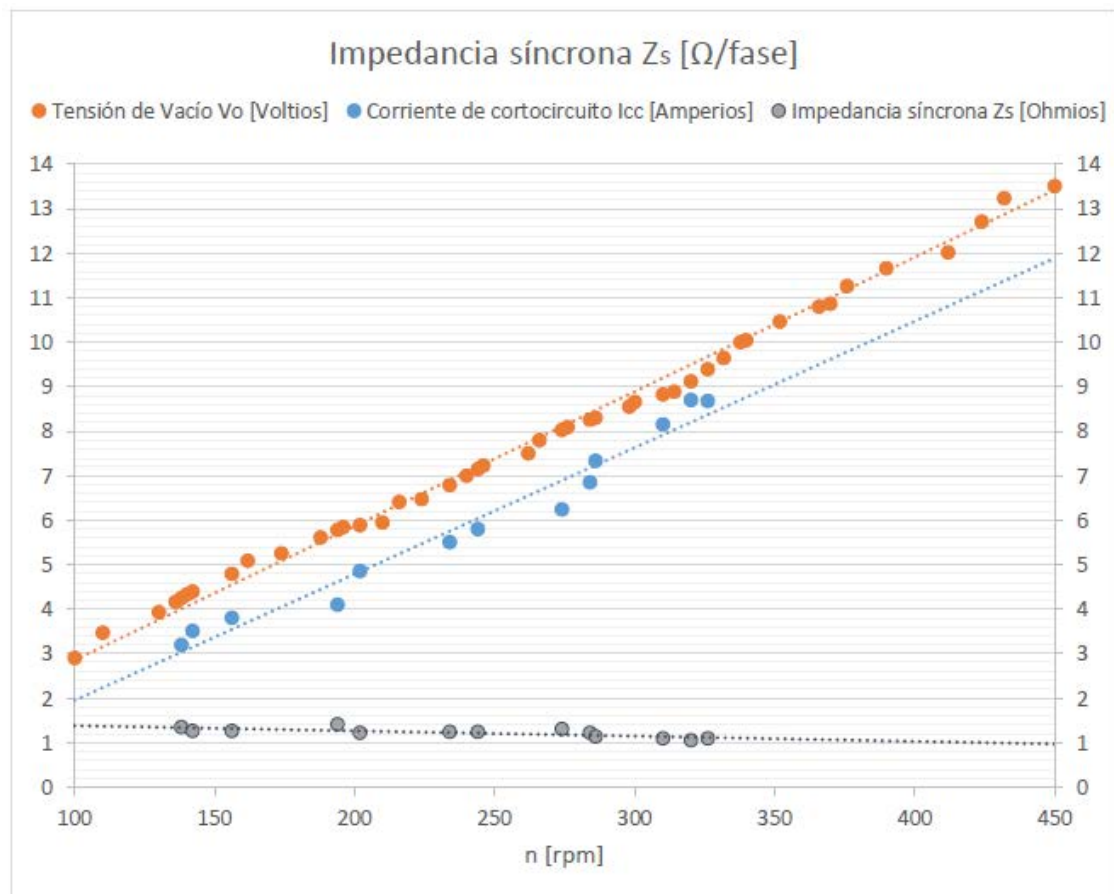


Ilustración 5: Impedancia síncrona. [7]

Cuando aparecen dos zonas bien diferenciadas en el ensayo de vacío, esto se refleja en la obtención de la impedancia síncrona de forma que este valor está en una zona en la parte lineal y otra muy diferente en la parte de saturación. Esto da lugar a dos impedancias síncronas, una en la zona lineal y otra en la zona de saturación.

En los ensayos realizados se puede observar que no hay saturación en la prueba de vacío y siendo la característica de vacío también lineal, como era de esperar, se obtiene una impedancia síncrona de valor continuo y estable de aproximadamente 1,21 Ω .

- Parámetros del circuito equivalente.

Con todas las pruebas realizadas y el cálculo de la resistencia y la impedancia síncrona, podemos definir todos los parámetros del circuito equivalente cuyo esquema es el siguiente:

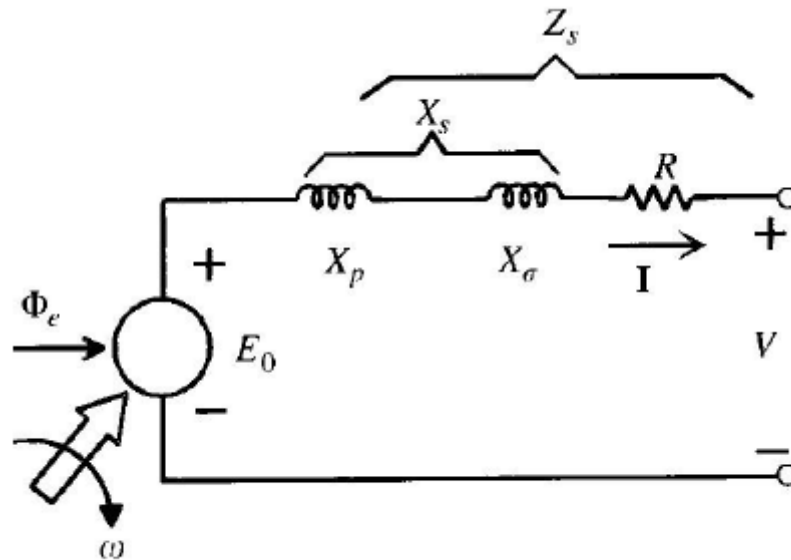


Ilustración 6: Circuito equivalente del generador. [7]

Donde se obtiene que:

- X_s es la reactancia síncrona que está formada por la reactancia de dispersión X_σ y por la reactancia de reacción de inducido X_p .
- Z_s es la impedancia síncrona, que es la formada por X_s y R calculada en los apartados anteriores.
- R es la resistencia de los arrollamientos calculada.
- E_o es el Fem inducida. E_o viene dada para cada valor de la n (rpm) en la característica de vacío.
- V es la tensión de salida en terminales de la máquina.
- X_s se puede calcular con la ecuación:

$$Z_s = R + jX_s$$

El módulo de X_s es:

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R^2} = \sqrt{1,21^2 + 0,94^2} = 0,76\Omega$$

2.1.2.- El rectificador de corriente.

La corriente que se genera es de tipo trifásica, por lo que no nos serviría a la hora de cargar una batería o de alimentar cargas que estén en corriente continua. Para conseguir una tensión y una corriente continua se coloca un puente rectificador no controlado por diodos en la salida del generador.

Este rectificador consta de seis diodos y de un condensador como se muestra en la figura.

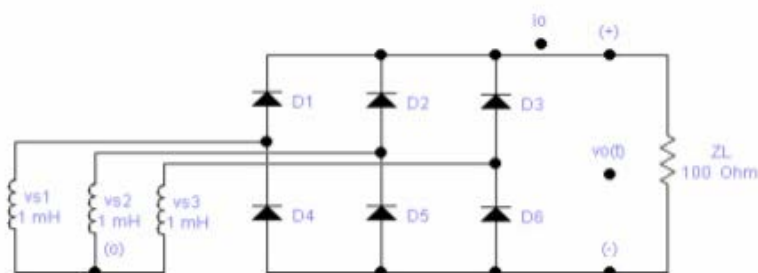


Ilustración 7: Esquema rectificador con condensador. [6]

El funcionamiento del rectificador es sencillos, los diodos están puestos de manera que impiden o permiten el paso de corriente que circula por cada fase en el momento oportuno de manera que en la salida se tiene la suma de todas las fases como una corriente continua.

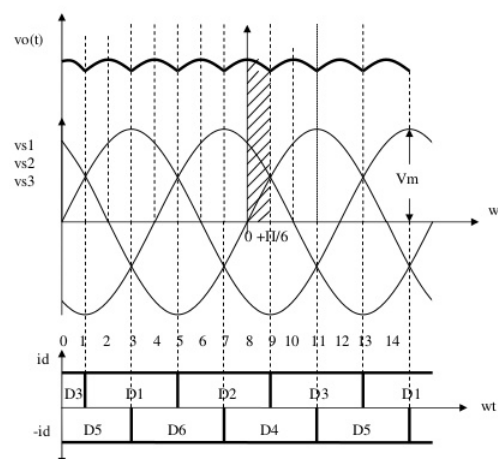


Ilustración 8: Forma de onda y ángulo de diodos de un rectificador trifásico. [6]

Hay que tener en cuenta que esta corriente de salida no es pura, sino que tiene muchos armónicos en la salida y provoca una inestabilidad en la señal, por lo que se tiene que poner un condensador que hace de filtro de estos armónicos, dando en la salida una corriente más pura, con la que ya si, se puede trabajar. [4]

Se elige, por tanto, un rectificador utilizado en los laboratorios de máquinas eléctricas.



Ilustración 9: Rectificador de corriente del laboratorio. [7]

Este rectificador consta de una entrada trifásica y una salida en continua con un fusible de cuatro amperios. A la hora de hacer las pruebas se encuentra con el problema de que dicho fusible salta, ya que la corriente que se demanda y se genera tiene picos de más de 4 amperios, por lo que se decide hacer una modificación en el rectificador, comprobando y consultando al jefe de laboratorio que los diodos pueden soportar más amperaje siempre que este con un disipador de energía.

La solución planteada es colocar a los diodos un disipador y colocar en el portafusible un fusible con una capacidad de 10 amperios, con lo que el problema queda solucionado.



Ilustración 10: Diodos con disipador de potencia.

2.1.3.- El regulador de carga.

El regulador de carga es el encargado de regular constantemente el estado de carga de las baterías así como de regular la intensidad de carga de las mismas con el fin de alargar la vida útil de estas.

Lo hace controlando la entrada de corriente proveniente del generador y evitando también que se produzcan sobrecargas en la batería o descargas profundas que hagan que la vida de la batería se vea mermada.

En nuestra instalación, el generador es de tipo eólico como se explicó en el punto 2.1.1 por lo que para la elección del tipo de regulador de carga se decide aprovechar uno disponible en el laboratorio.

Es el Marlec Rutland HRSi. Este tipo de regulador es híbrido entre solar y eólica y tiene dos tipos de funcionamiento a 12 voltios y a 24 voltios el cual se detecta automáticamente leyendo la tensión de batería a la cual está conectado. Este regulador también es apropiado porque los ajustes que tiene fijados son idóneos para baterías tipo plomo-acido (que es la que vamos a utilizar para las pruebas), baterías AGM y baterías tipo gel. Para lograr esto utiliza la tecnología PWM (modulación por ancho de pulso) [4]. En el anexo se encuentra la hoja técnica de este aparato.



Ilustración 11: Regulador de carga de baterías. [7]

La entrada de este regulador es continua, pero queda solucionado con el rectificador que se explicó en el punto 2.1.2.

El funcionamiento del regulador viene dado por los leds que están en el frontal. Son dos leds y pueden mostrar diferentes colores. El led de la izquierda indica si la batería está recibiendo carga, es decir, si se muestra de color verde, la tensión de generación está dentro del rango del regulador y es idónea para cargar la batería. Si en cambio muestra color amarillo, está fuera de rango y el regulador hace su trabajo regulando la tensión. Si este led, se muestra rojo, no tiene una tensión propicia por lo que no vuelca nada a la batería.

El led de la derecha muestra si la batería está o no recibiendo carga. Cuando se muestra verde, está recibiendo toda la carga. Cuando se muestra amarillo está regulando la entrada de carga a la batería. En cambio cuando se muestra rojo, el regulador impide que se vuelque corriente a la batería con el fin de impedir que sufra daños por sobrecarga o no carga de la misma.

En el proceso de hacer las pruebas que competen a este proyecto, dicho regulador sufrió una avería. Al conectar el regulador a la batería, ésta derivó una corriente al regulador, no funcionaron las protecciones del mismo y se averió.

Rápidamente se compró un regulador igual nuevo por internet, no tardando mucho en encontrar uno que en unos días estuvo en el laboratorio montado y listo para las pruebas.

Para evitar que esto volviera a ocurrir, se dispuso de un diodo el cual evita que se deriven corrientes de la batería al regulador y así proteger más el regulador.

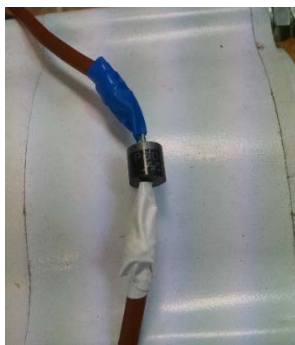


Ilustración 12: Diodo protector.

2.1.4.- Sistema de transmisión y otros componentes.

Para que el generador pueda girar a una velocidad buena para la generación, se deben de disponer de diferentes sistemas que nos ayuden a poder moverlo con relativa facilidad. En este apartado se diferenciarán apartados: la transmisión (relación de transmisión, platos y piñones de cadena, tensor de cadena, etc.), el volante de inercia y estructura de la bicicleta.

Para la transmisión, el prototipo monta un sistema de cadena sencillo de plato-piñón. Para conseguir aumentar la velocidad en el generador con un pedaleo normal en el plato se tiene que dar que el piñón sea lo suficientemente pequeño y el plato lo suficientemente grande como para que se cumpla la siguiente relación de transmisión:

$$Rt = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

- ω_1 es la velocidad angular del plato.
- ω_2 es la velocidad angular del piñón.
- Z_1 es el número de dientes del plato.
- Z_2 es el número de dientes del piñón.

El plato que monta el prototipo fue comprado en Francia de fabricación de manera artesanal y consta de 61 dientes. Este plato es más grande que los que se comercializan comúnmente que no suelen superar los 52 dientes para bicicletas de carrera. Para el piñón, los que menos dientes tienen son los piñones fijos, estos tienen el inconveniente que al dejar de pedalear se fijan y la inercia del generador haría que siguieran rodando y eso no es el efecto deseado ya que puede hacer daño al sujeto que pedalea.

Por lo tanto para el piñón se decide elegir el más pequeño que no se pare cuando se deje de pedalear. Consta de 11 dientes, por lo que la relación de transmisión sería 61/11.

Esto deja aplicando la formula y con lo que ya sabemos que una persona suele pedalear entre 70 y 100 revoluciones por minuto, se tiene que en el generador se tendría:

$$Rt = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{70 (100)}{\omega_2} = \frac{11}{61}$$

$$\omega_2 = \frac{61 * 70 (100)}{11} = 388,1818 (554,5455)rpm$$

Estas revoluciones encajan con el generador de microeolica que se describió en el apartado 2.1.1.

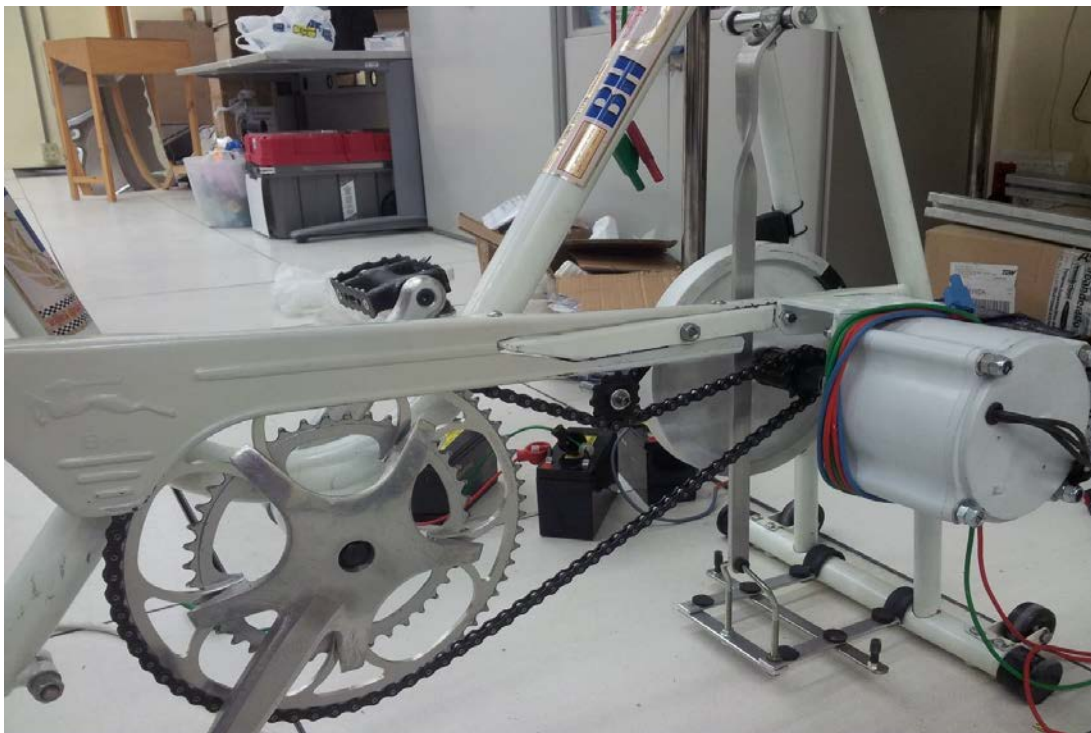


Ilustración 13: Sistema de transmisión del prototipo. [7]

En el sistema de transmisión se dispone de un tensor en la cadena que evita saltos en la misma. El piñón elegido es de un conjunto (llamado casete) de más piñones, por lo que está fabricado de forma que ayuda al salto de uno a otro piñón. Esto se traduce en saltos en la cadena y como solución se consigue un tensor de cadena que ayuda evitar este salto y es una solución buena que queda demostrado en las pruebas realizadas. Este tensor también nos ayuda a colocar la cadena mejor.



Ilustración 14: Tensor de cadena. [7]

El prototipo se monta sobre una bicicleta estática antigua cuya estructura tiene un chasis de acero que la da rigidez y ayuda a trabajos posteriores como soldar o taladrar. En esta estructura se sustituye la rueda delantera por el soporte para albergar el generador y el nuevo sistema de transmisión así como el volante de inercia y los soportes para las baterías.

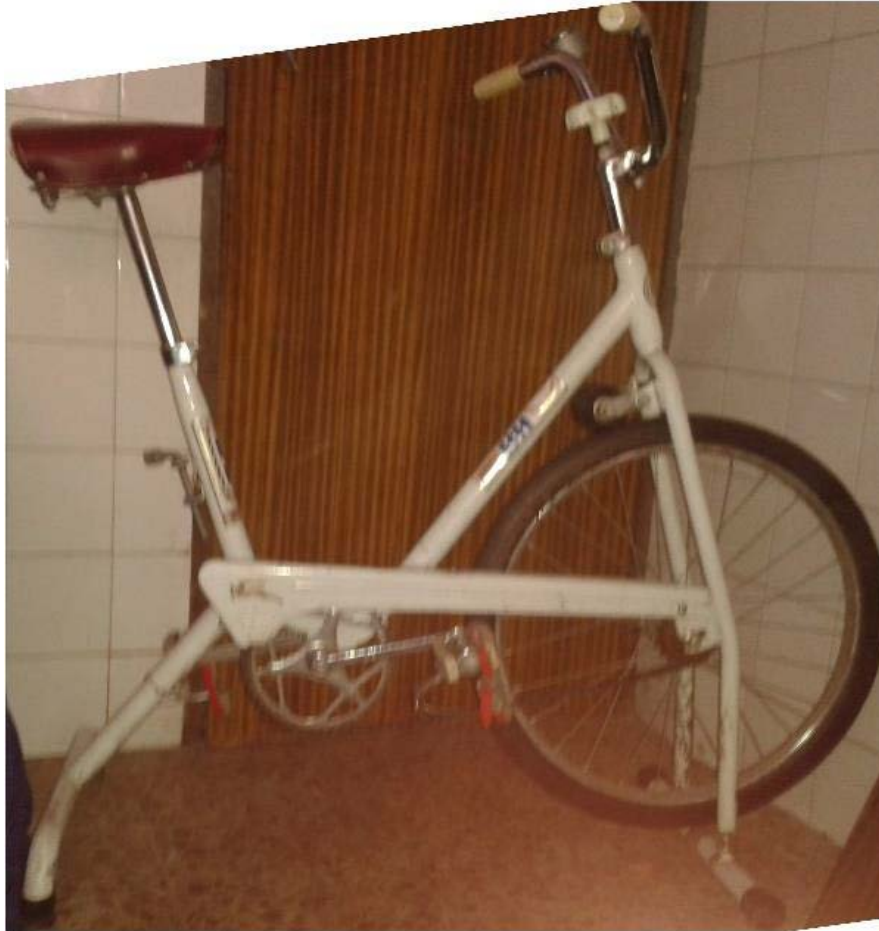


Ilustración 15: Bicicleta estática inicial. [7]

El generador está colocado a un lateral de la bicicleta, acoplado al piñón, como se puede observar en la ilustración 13. Surge el problema de desestabilidad de fuerzas a la hora de pedalear y se instala un volante de inercia que contrarresta el peso y el movimiento del generador, así se consigue que el balanceo del generador sea mínimo y se consiga la estabilidad deseada.

2.2.- Motorización del prototipo.

El objetivo principal de esta motorización del prototipo de generación es el poder caracterizar y simular el comportamiento de una persona en el pedaleo sin variaciones de potencia aparente, ya que podemos regular su potencia y no se cansa ni tampoco varia su velocidad como podría hacer un humano; así poderlos comparar con las pruebas de pedaleo sin máquina motriz. En este apartado se mostrarán con más detalle los componentes y la instalación del motor eléctrico en el sistema.

Todos los componentes son provenientes del laboratorio por lo que el gasto fue nulo en este aspecto.

2.2.1.- Componentes del sistema.

2.2.1.1.- Motor eléctrico.

El motor es eléctrico, el que se utiliza para convertir una bicicleta normal en una bicicleta eléctrica. [5]

El motor es de 36 Voltios y 350 Vatios brushless (sin escobillas) de gran rendimiento y que pesa entorno a los 3 kilos de peso. Tiene dos sentidos de giro y un encóder incremental integrado. A este motor esta adherido un engranaje planetario para adaptar la velocidad y la potencia que deseemos dar al prototipo. Todo el conjunto motor planetario es compacto pudiendo elegir los piñones que deseemos para facilitar el arranque.



Ilustración 16: Motor eléctrico sin conjunto planetario. [8]

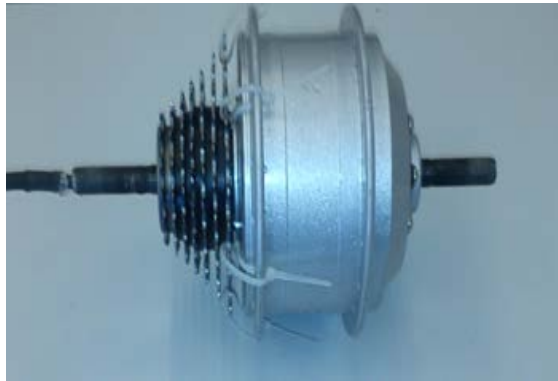


Ilustración 17: Motor eléctrico con conjunto planetario. [8]

En el Anexo se puede ver la tabla de características de dicho motor pudiendo observar el trabajo mecánico, el trabajo eléctrico y el rendimiento del mismo.

2.2.1.2.- Controlador.

Este controlador es el encargado de captar todas las señales enviadas por los sensores dispuestos en la bicicleta, como por ejemplo, el acelerador del motor y controlar la velocidad del motor. El controlador que se utiliza dispone de un microprocesador que esta alimentado a 36 voltios, necesarios para que el motor funcione.



Ilustración 18: Controlador del motor. [8]

Como principales características de este controlador se puede comentar que funciona o no con el sensor hall, que dispone de detección de baja tensión en la batería (27,7 voltios), que consta de protección contra sobre-temperatura, señal de frenado para alto nivel de tensión y entrada de nivel de baja tensión.

Consta de seis MOSFET 2SK4145 con las siguientes características:

MOSFET 2SK4145, RDS (on) 10 m Ω , VDSSmax 60V, IDmax 84A.

Siendo:

RDS: La resistencia del MOSFET.

VDSSmax la tensión máxima que pueden soportar.

IDmax la corriente máxima que soportan.

En el anexo se muestra el esquema electrónico del controlador al completo.

2.2.1.3.- El acelerador.

El acelerador del que se disponía era el acelerador de tipo “gatillo”. Para la realización de las pruebas, este acelerador se modificó para un mejor manejo del mismo, colocando en vez de giro de muñeca, un sistema de ruleta de giro, en vez del antiguo de giro con puño con retroceso; así se puede variar cómodamente la tensión de referencia que le llega al controlador para detectar el nivel de velocidad y rapidez de la aceleración (entre 1-5 Voltios como valores de referencia para menos a más velocidad respectivamente). Con este sistema nos ahorramos el control de “velocidad de cruce” dejando la ruleta fija en un mismo punto.



Ilustración 19: Acelerador de tipo “gatillo” antes de la modificación. [8]



Ilustración 20: Modificador del acelerador.

2.2.1.4.- Baterías de alimentación.

Para alimentar todo el sistema, se deben disponer de baterías que aporten la tensión necesaria para el funcionamiento del controlador y del motor eléctrico. En este caso se colocaran en serie tres baterías de plomo de 12 Voltios y 12 amperios hora, como la que se observa en la ilustración.



Ilustración 21: Batería para alimentación de motor.

2.2.1.5.- Pulsador de alimentación de motor

Para evitar que la conexión de la batería a 36 voltios sea defectuosa y como medida de seguridad ante posibles arcos eléctricos que pudieran existir entre conector y borne de la batería y derivaciones que pudieran ocasionar a la persona que alimenta el motor, se decide colocar un interruptor, el cual soporta 250 voltios y 10 amperios. El controlador se instala en la salida de negativo de la batería y con esto se consigue una conexión fiable entre batería y motor sin peligro.



Ilustración 22: Interruptor de alimentación.

2.2.1.6.- Otros componentes.

El kit completo del motor trae otros componentes que no se utilizarán para la realización de las pruebas que son los siguientes:

- Manetas de freno con corte de señal: Es un sistema que corta la señal al motor en cuanto detecta que se ejerce presión sobre el freno, cortando así la señal que le llega al motor para que este no acelere o mantenga la velocidad durante el frenado. Por lo tanto se califica como sistema de seguridad.



Ilustración 23: Manetas de freno [8]

- Sensor de pedaleo PAS: Este sensor, se instalaría en el eje pedalier, detectando el pedaleo del ciclista y enviando una señal al controlador haciendo que este desactive el motor para no funcionar ambos a la vez, motor y pedaleo.



Ilustración 24: Sensor de pedaleo PAS. [8]

2.2.2.- Instalación del prototipo para la motorización.

Para instalación de todos los sistemas antes descritos en el punto anterior, se tuvo que hacer una serie de modificaciones en el prototipo inicial.

El motor se encontraba inicialmente en un soporte fabricado por cuatro perfiles de acero de sección cuadrada y huecos en su interior de un espesor 2 milímetros. Estos se cortaron con una longitud de 250 milímetros y con un ángulo de 45 grados, soldados posteriormente formando una estructura cuadrada. En la mitad de dos de los perfiles se soldaron unas escuadras de acero de altura 130 milímetros las cuales se colocaron verticalmente. En estas escuadras se practicaron dos taladros de 20 milímetros de diámetro en los cuales se sujeta el motor eléctrico. [8]



Ilustración 25: Apoyo del motor antes de la instalación.

Para amarrarlo al prototipo, en el apoyo trasero del mismo y del soporte del motor, se practicaron dos taladros de 12 milímetros que atravesaban el soporte y el apoyo trasero por los cuales se colocó un eje roscado, amarrando así con tuercas normalizadas la estructura del prototipo al soporte del motor como se ve en la siguiente figura:



Ilustración 26: Unión entre motor y estructura de bicicleta.

Para poder engranar el piñón del motor al plato del prototipo se debe alargar la cadena. Para ello se procedió a destensar el tensor (explicado en el apartado 2.1.4) para retirar la cadena. Con un trochacadenas se separó y se alargó la cadena con otra que previamente se compró para obtener los engranajes necesarios para colocar la cadena. Una vez conectados todos los engranajes, se procede a tensar el tensor y comprobar que tiene la tensión adecuada.



Ilustración 27: Motorización completa.

Después de tener el montaje se procede a la instalación del circuito eléctrico que comanda el motor y para ello se tiene que tener en cuenta las conexiones del controlador, para saber dónde conectar cada elemento (motor, acelerador y baterías)

Las conexiones son las siguientes:

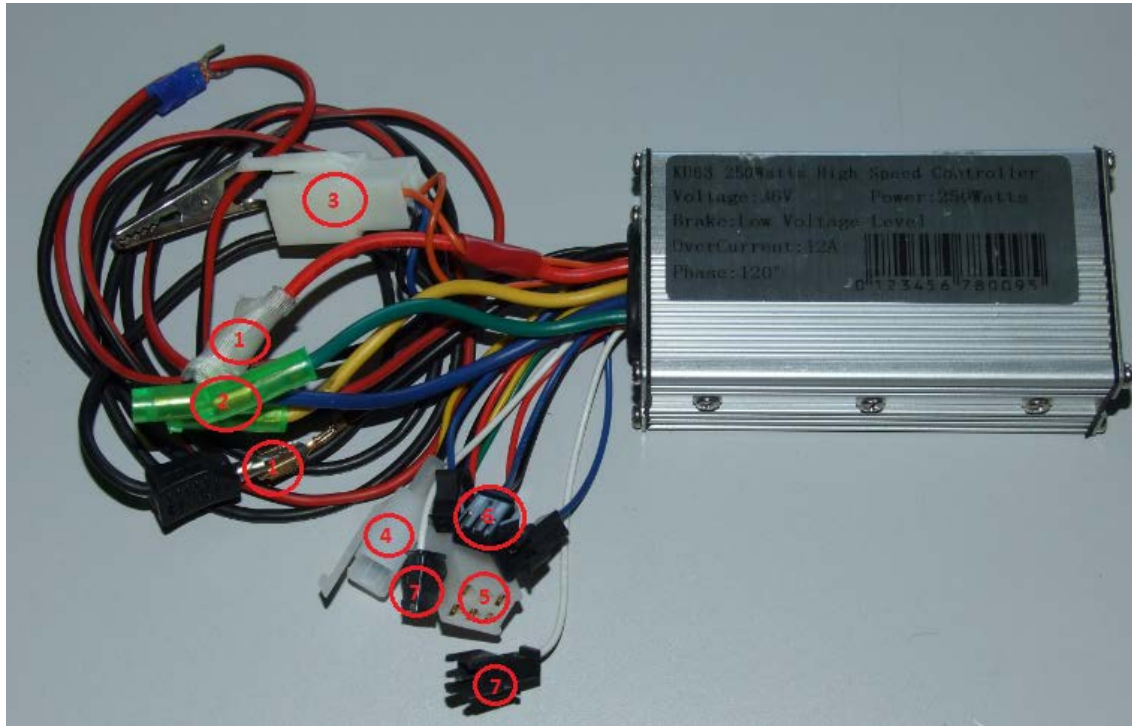


Ilustración 28: Conexiones del controlador. [8]

- 1. Es la alimentación de 36 V baterías (rojo-negro)
- 2. Salida de potencia del motor (Verde, amarillo y azul)
- 3. Acelerador (Azul, negro y naranja)
- 4. Frenos (Amarillo y negro)
- 5. Hall motor (Verde, amarillo, azul, rojo y negro)
- 6. Sensor de pedaleo PAS (Azul y negro)
- 7. Limitador de velocidad (Blanco)

En nuestro caso, se conectaron las baterías a través del interruptor, que se dispusieron en serie, al punto 1, dando así 36 Voltios al motor, los conectores del punto 2 se conectaron al motor eléctrico y el punto 3 al acelerador modificado.

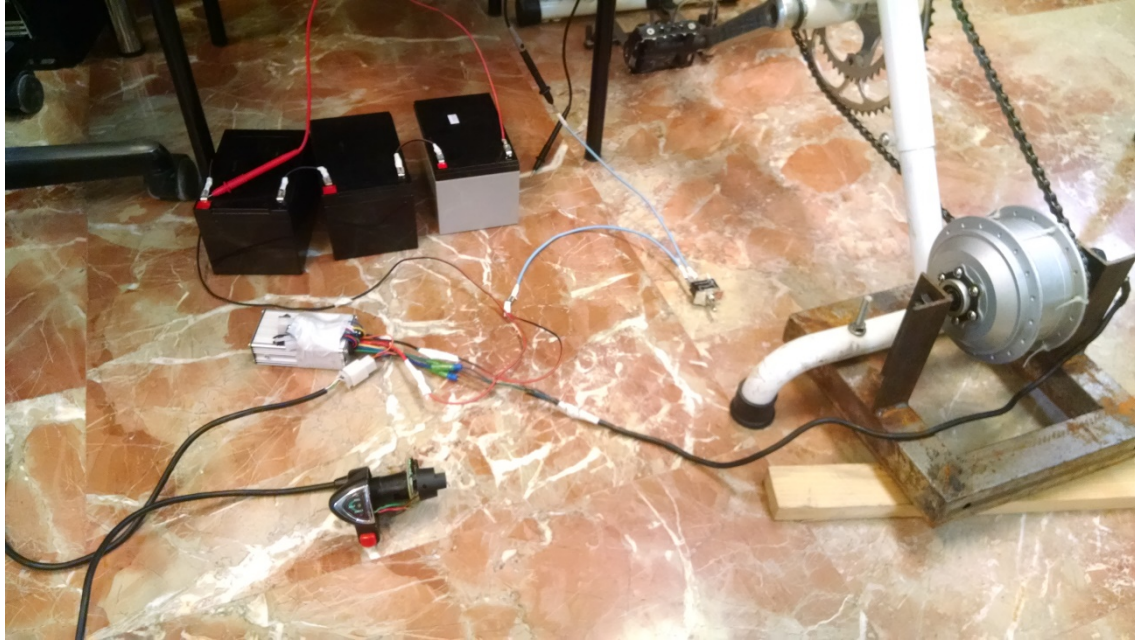


Ilustración 29: Circuito eléctrico del motor.

3.- Toma y análisis de datos. Resultados experimentales.

En este apartado se muestra el proceso de toma de resultados en el prototipo, así como un análisis de los mismos. Se tratará de además de observar y demostrar las posibles aplicaciones de nuestro prototipo a la vida real, así como estimar mediante la motorización del motor, la potencia de pedaleo de una persona.

3.1.- Datos de pedaleo manual.

Para estas pruebas se utilizará el prototipo expuesto anteriormente y una serie de sensores y aparatos de medida para la toma de datos que nos ayudan a interpretar las pruebas más adelante. Estos aparatos de medida son:

- **Multímetros digitales:** Este aparato de medida es el encargado de medir el voltaje y la corriente que circula por el circuito, insertado de manera correspondiente a cada medida que vaya a tomar (Amperímetro en serie y tensiómetro en paralelo). De esta forma se obtendrá las medidas de tensión en batería, la de tensión en las cargas agrupadas en paralelo, la corriente de salida del regulador y la corriente que están consumiendo las cargas.



Ilustración 30: Multímetro digital.

- Velocímetro digital: Para medir la velocidad del generador y por lo tanto, la velocidad del sujeto que pedalea. Este velocímetro se puede calibrar al milímetro la longitud de la circunferencia de la rueda y gracias a esto se puede programar para una equivalencia 10/1 directa que facilita la toma de medidas. Programando para una longitud de 1667 milímetros, que es la longitud del volante de inercia y donde se coloca el imán, las revoluciones por minuto a la que gira el generador serán 10 veces los kilómetros por hora que marque la pantalla principal. Un ejemplo es: si en la pantalla muestra 386 revoluciones, en la pantalla se mostrará 38,6 kilómetros por hora.



Ilustración 31: Velocímetro.

- Dispositivo de toma de datos: Este dispositivo se utiliza para medir tensiones y corrientes dc y registrarlas en modo texto ascii en un fichero de texto, así como representarlas en pantalla. Este sensor está alimentado desde la red eléctrica y conectada a un ordenador. se emplea para medir en la salida del rectificador la tensión y la corriente que produce el generador. Mediante un programa de análisis de datos, se puede ver en tiempo real la tensión del generador, la corriente y la potencia que está dando en ese momento. Este dispositivo ha sido implementado por el maestro de laboratorio del dpto de ing. eléctrica, Francisco Sánchez. Los valores máximos de tensión y corriente son 100V y 16 A, los cuales no se sobrepasaran nunca, ya que el rectificador fue modificado para soportar más

corriente pero su fusible actúa cuando detecta una corriente de más de 10 Amperios. La toma de datos es configurable en el tiempo, puedes decirle que tome muestras cada 5 segundos o cada 15, dependiendo de lo que desees.

En el anexo se encuentra el esquema de dicho sensor.

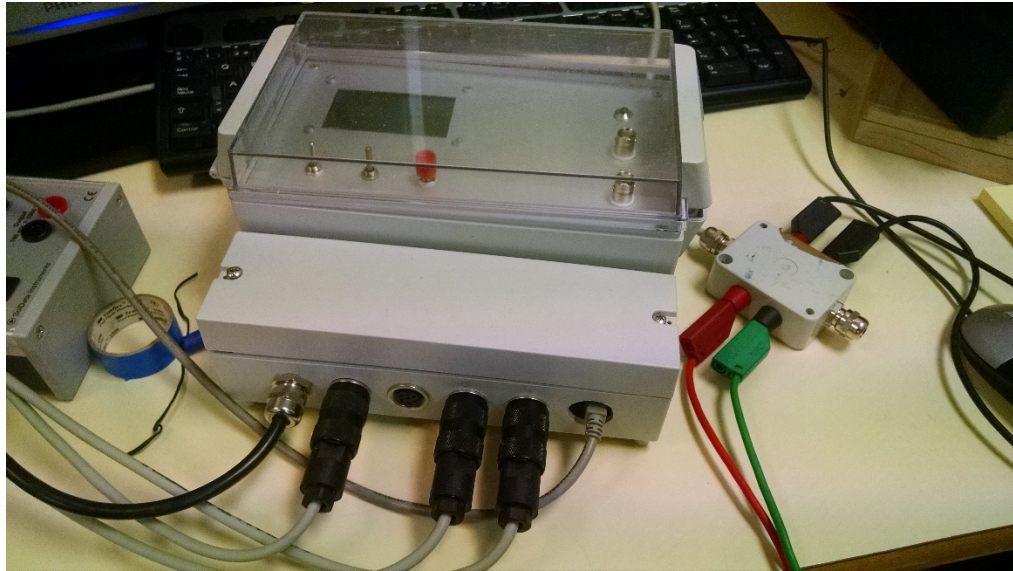


Ilustración 32: Dispositivo de toma de datos.

Una vez descritos los sensores de toma de medidas, se detallan las cargas conectadas al prototipo para proceder a la toma de medidas:

- Cargador de baterías de móvil: El conector de esta carga es de 12 Voltios, es el típico utilizado para toma de mechero de coche. En esta carga se conecta un móvil cuya batería es de 1500 miliAmperios mediante un micro-USB.



Ilustración 33: Cargador de baterías de móvil

- Luces led: Se utilizan dos lámparas led de la marca Philips de 2.5 vatios de potencia. Estas lámparas servirán para simular iluminación en una pequeña estancia.



Ilustración 34: Luces leds

- Nevera portátil: Esta nevera, alimentada en DC, es la usada típicamente para camping. Su misión no es enfriar hasta entre 1-5 grados de temperatura, si no bajar la temperatura en torno a 10-15 grados respecto a la del exterior y mantenerlo; es decir, si fuera hace 25 grados esta nevera lo mantendrá entre 15-10. Su conector es como el de clavija de coche a 12 Voltios



Ilustración 35: Nevera de portátil.

- Calentador de agua: Esta carga, al igual que las demás se alimenta a 12 Voltios DC con el conector similar al utilizado en automoción. La carga consume según sus especificaciones, 20 A a 12 V, que hacen un total de 240 W de potencia

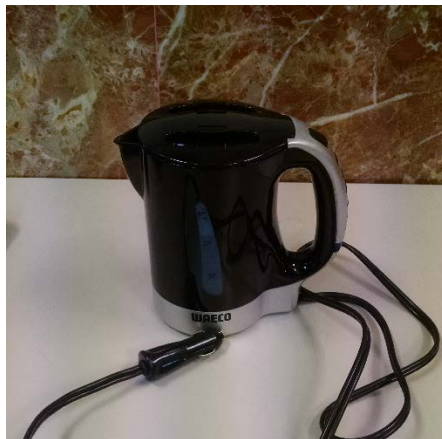


Ilustración 36: Calentador de agua.

- Batería: La batería que se conecta es de gran capacidad usada en automoción. Tiene una tensión de 12 Voltios y puede dar una capacidad de 44 Amperios hora. Esta batería se conectará en paralelo a las cargas.



Ilustración 37: Batería de 44 Ah y 12 V.

Ya con todos los componentes descritos, se procede al montaje de los circuitos y la realización de las pruebas de carga de las baterías con distintas cargas conectadas para ver los posibles usos que se pueden llevar a cabo con este prototipo en la vida real, así como su adaptación a los lugares oportunos, por eso se partirá de diferentes voltajes de batería, para poder asemejar más los diferentes estados de carga.

Las pruebas se realizarán de una duración de treinta minutos de pedaleo, tiempo suficiente para la recogida de muestras válidas. Los datos quedaran registrados en el ordenador mediante el sensor descrito en este mismo apartado y los datos de los multímetros y el velocímetro serán registrados mediante la cámara de un teléfono móvil de la marca Motorola, modelo Moto X de 2013. En este dispositivo se instala un software utilizado en fotografía, llamado “Tina Time-Lapse” el cual es gratuito y descargado de la tiendas de aplicaciones de google [10].

Tanto para la toma con el sensor y el software del teléfono, se programan para que hagan una toma de datos y una foto, respectivamente cada 10 segundos, teniendo así una cantidad de muestras totales de:

$$30 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1800 \text{ s}$$
$$\frac{1800 \text{ s}}{10 \text{ s}} = 180 \text{ muestras}$$

3.1.1.- Carga de batería en periodos largos de pedaleo.

3.1.1.2.- Carga con 12.31 Voltios iniciales.

En esta primera prueba, lo único que se colocará es la batería en la salida del regulador y con todos los sistemas de medida debidamente colocados tal y como se muestra en la siguiente figura.

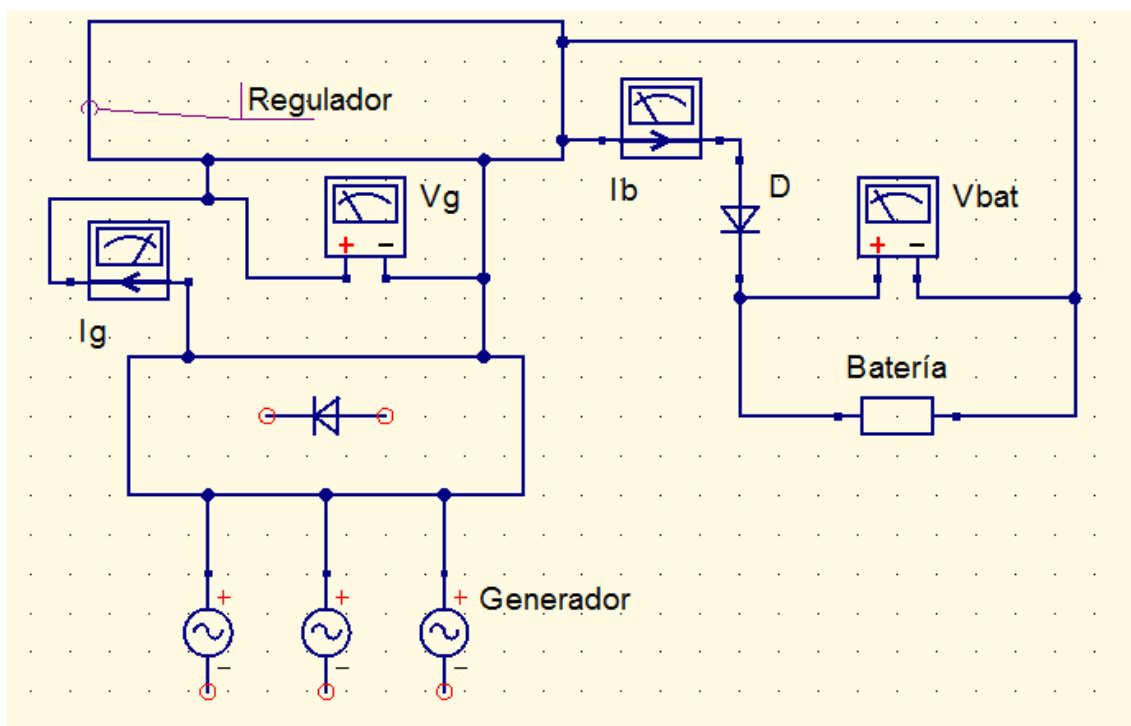


Ilustración 38: Esquema de Carga de baterías.

Una vez procesadas las pruebas en el tiempo de estudio, se tienen los siguientes datos:

- V_b : Tensión en batería en Voltios.
- I_b : intensidad de batería en Amperios.
- V_g : Tensión de generación en Voltios.
- I_g : Intensidad de generación en Amperios.

A partir de estos datos y sabiendo que:

$$W = V * I$$

Podemos calcular:

- W_b : Potencia en la batería en W.
- W_g : Potencia del generador en W.

También se obtienen a través del velocímetro los datos de velocidad de generador, al que llamaremos Ω_g y con este dato y la relación de la transmisión se obtiene el dato de la velocidad del ciclista, a la cual nombraremos Ω_c . Teniendo en cuenta que para esta prueba se mantendrá la velocidad de forma constante, en la medida de lo posible, con un pedaleo fluido y continuo, no de picos, ya que no estamos probando cuanta potencia puede llegar a dar el sistema si no observar el proceso de carga de una batería.

En este caso, partimos de una carga de batería de 12.31V. Terminada la prueba, se deja reposar la batería para que se estabilice la carga entre sus celdas en torno a 20 minutos. Transcurrido el tiempo se obtiene una carga de batería de 12,52 Voltios y los datos obtenidos son procesados en una hoja de cálculo para su análisis.

Los cálculos obtenidos se analizan en función del tiempo y se pueden observar las siguientes gráficas de los valores antes obtenidos.

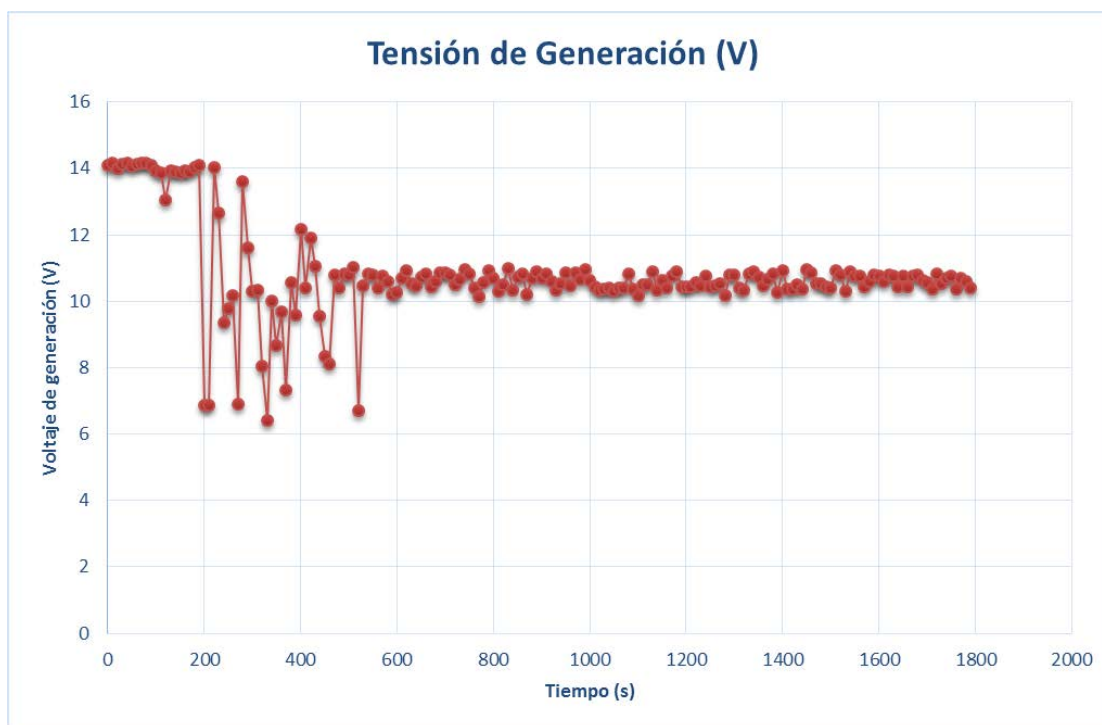


Ilustración 39: Tensión de generación. 12.31 V iniciales.

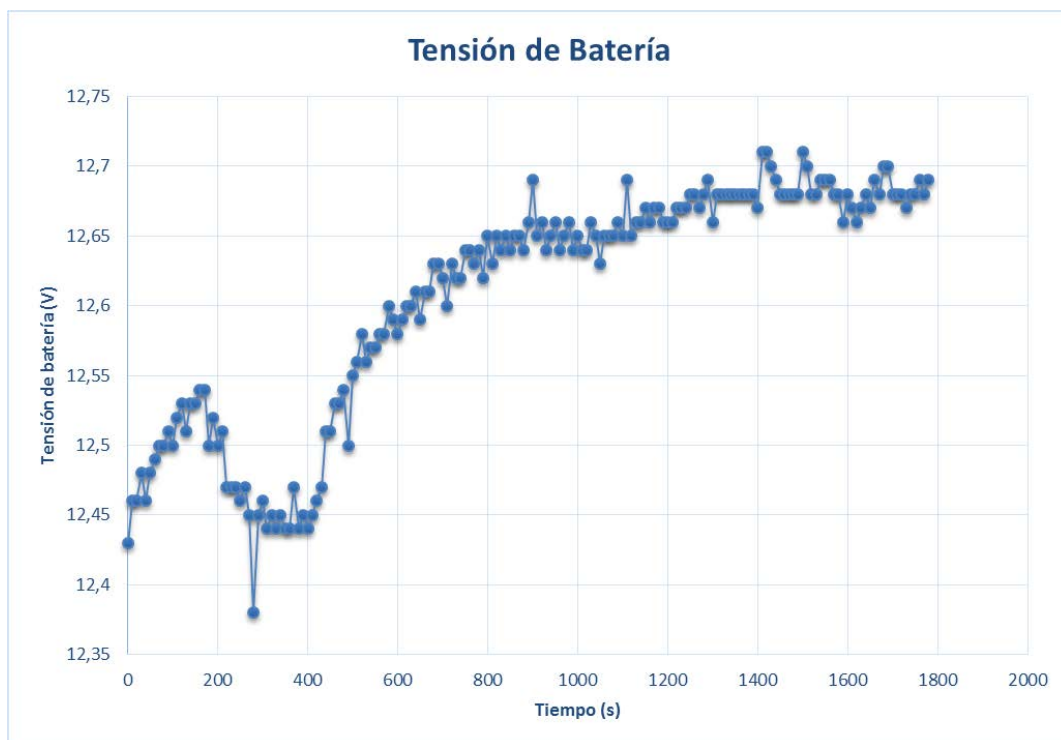


Ilustración 40: Tensión en batería. 12.31 V iniciales.

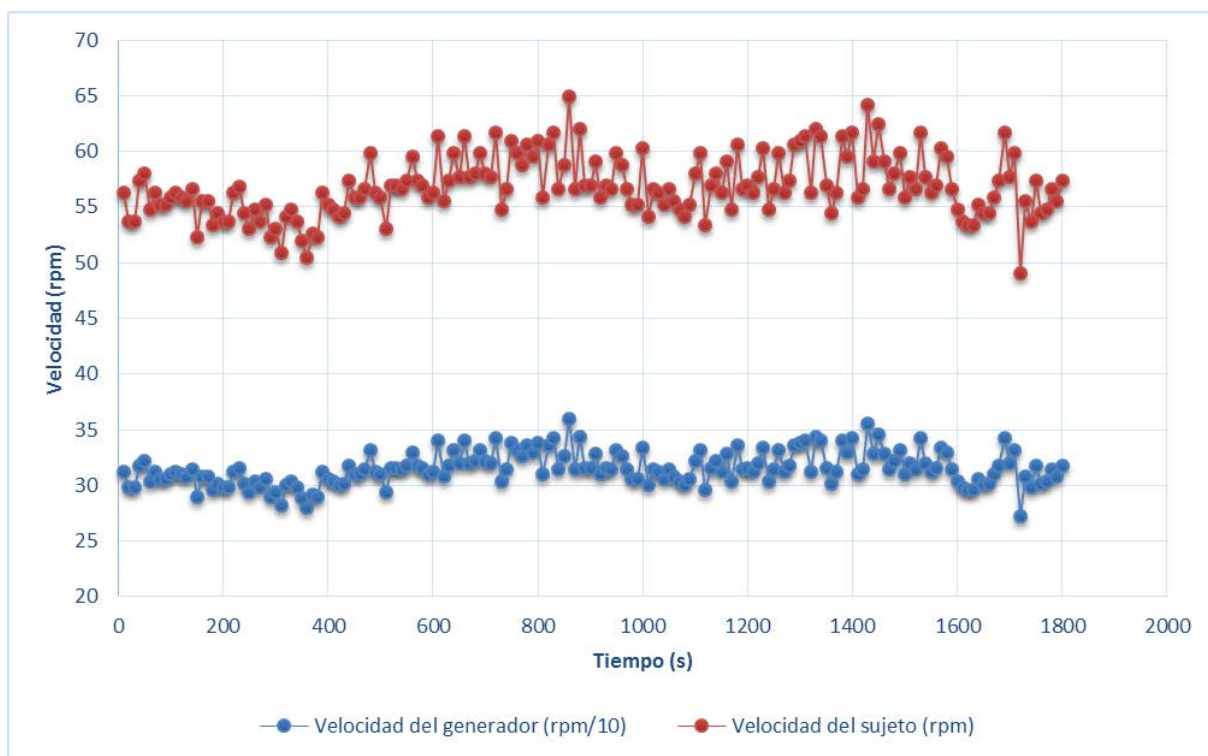


Ilustración 41: Velocidad de generador y velocidad sujeto. 12.31 V iniciales.

Para poder ver el gráfico de velocidades y poder observar ambas con suficiente claridad, se grafica la velocidad del generador (azul en el gráfico) por sus revoluciones por minuto entre 10.

Entonces se observa que el generador estuvo girando con una media de 315 revoluciones por minuto. Lo que nos significa que el sujeto estuvo pedaleando a una velocidad de 56,8 rpm.

En los gráficos de tensión de generador y batería se observa que ambos son normales, es decir, la batería va subiendo su nivel de tensión rápidamente en los primeros 800 segundos, absorbiendo la potencia que le cede el generador, hasta su proceso más lento de carga, que va desde los 800 segundos hasta los 1800 de la prueba, el cual sigue aumentando, pero de manera menos significativa.

Entre los segundos 200 y 450 se observa una anomalía en la gráfica. Esta anomalía viene dada por la acción del regulador. Como se puede observar en la ficha técnica del regulador (Anexo), cuando se tiene conectadas cargas de 12 Voltios, el regulador deja pasar la corriente hasta un valor de generación de 13.8 Voltios, es en ese momento en el que empieza la regulación de la potencia que se cede a la carga y se pasa a tener dos tipos:

- Led en color ámbar: Se sigue cediendo potencia a la carga, pero esta es de valor muy bajo. La potencia se manda de vuelta al generador en forma opuesta, es decir actúa de freno (se nota al pedalear) y así reducir la velocidad del generador y con ello la tensión generada.
- Led en color rojo: Se superan los valores tensión de generación y por lo tanto, el regulador pasa a no ceder potencia a la carga protegiendo así la batería y las cargas de posibles subidas de tensión.

Se puede ver entonces que la tensión es regulada en este intervalo de tiempo. La tensión de generación sube hasta casi los 14 Voltios y roza el límite; cuando es sobre- pasado se observa que cae la tensión en el proceso de carga, hasta los 800 segundos en los que se observa que vuelve a la normalidad dicho proceso y que la tensión de generación se estabiliza en la franja de 10-11 Voltios.

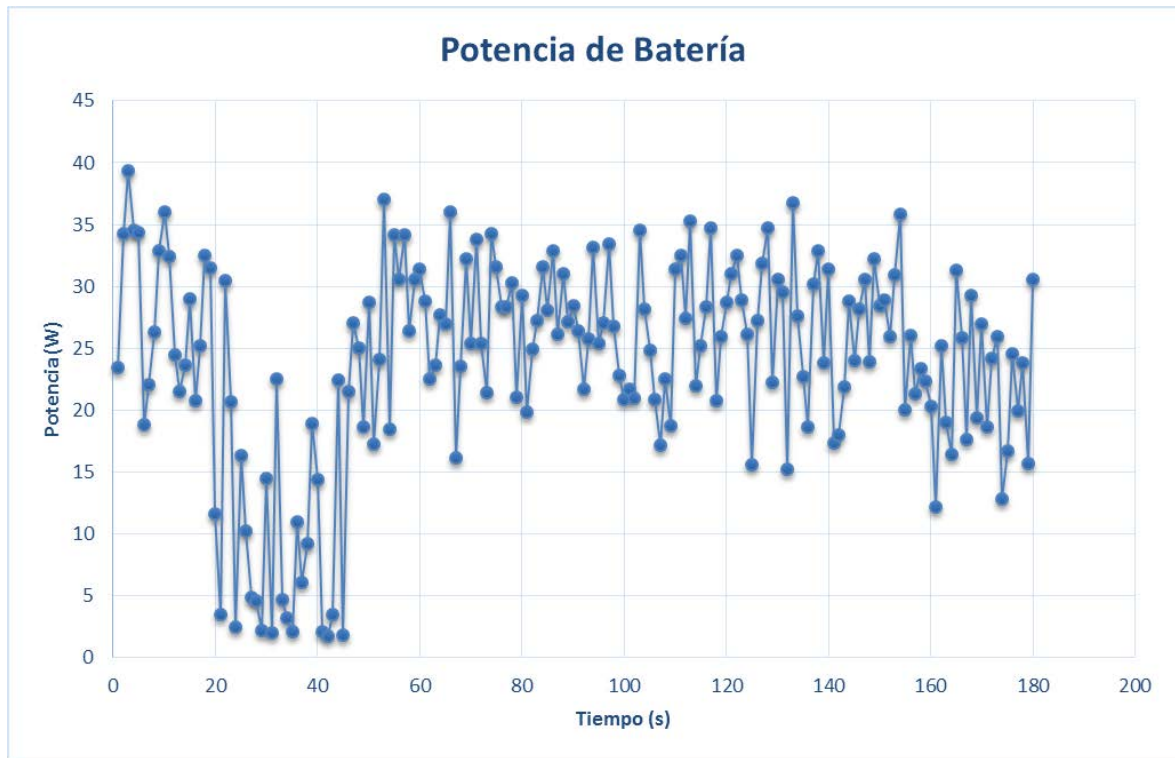


Ilustración 42: Potencia en la batería. 12.31 V iniciales.

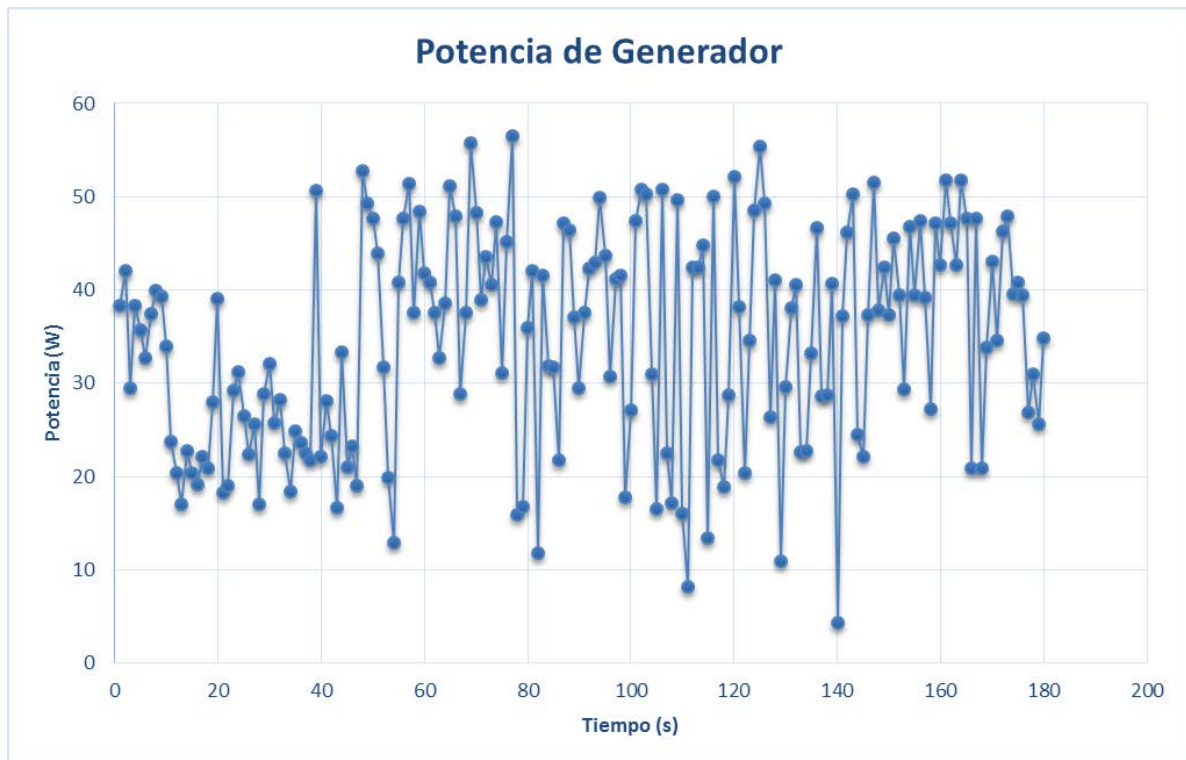


Ilustración 43: Potencia de generación. 12.31 V.

En los gráficos de potencia de batería, también se puede observar la anomalía de la regulación en el proceso de carga. En estos gráficos también se observa que la potencia de generación como de la batería tiene mucho rizado, ya que la potencia depende de la corriente. La oscilación, quitando la parte de la regulación, se puede considerar que está dentro de los valores que permiten a la batería absorber la potencia, elevándose su nivel de tensión y ser cargada. Es preferible tener una corriente fija, que no dependa de las oscilaciones de la velocidad en el ciclista y la irregularidad que éste genera en el movimiento giratorio para poder tener una carga más efectiva. Quitando algún valor que puede ser erróneo (o tomado mal a la hora de fotografiar los multímetros) se ve que hay una franja lineal constante a lo largo del tiempo y que no genera oscilaciones bruscas en este periodo de pedaleo. La franja de potencia que absorbe la carga después de la regulación es de 17-35 W de potencia.

3.1.1.2.- Batería con 11.77 Voltios iniciales.

En esta prueba de carga de batería, se considera un nivel bajo de las celdas, partiendo de una tensión inicial de 11.77 Voltios. Como en la prueba anterior se espera un tiempo de en torno a 20 minutos para esperar la estabilización de todas las celdas interiores, dando como dato final una tensión de 12.12 Voltios.

El esquema es el mismo que el utilizado para la carga anterior. Por lo tanto, una vez tomada los datos y procesados en la hoja de cálculo, se procede a analizar los datos obtenidos.

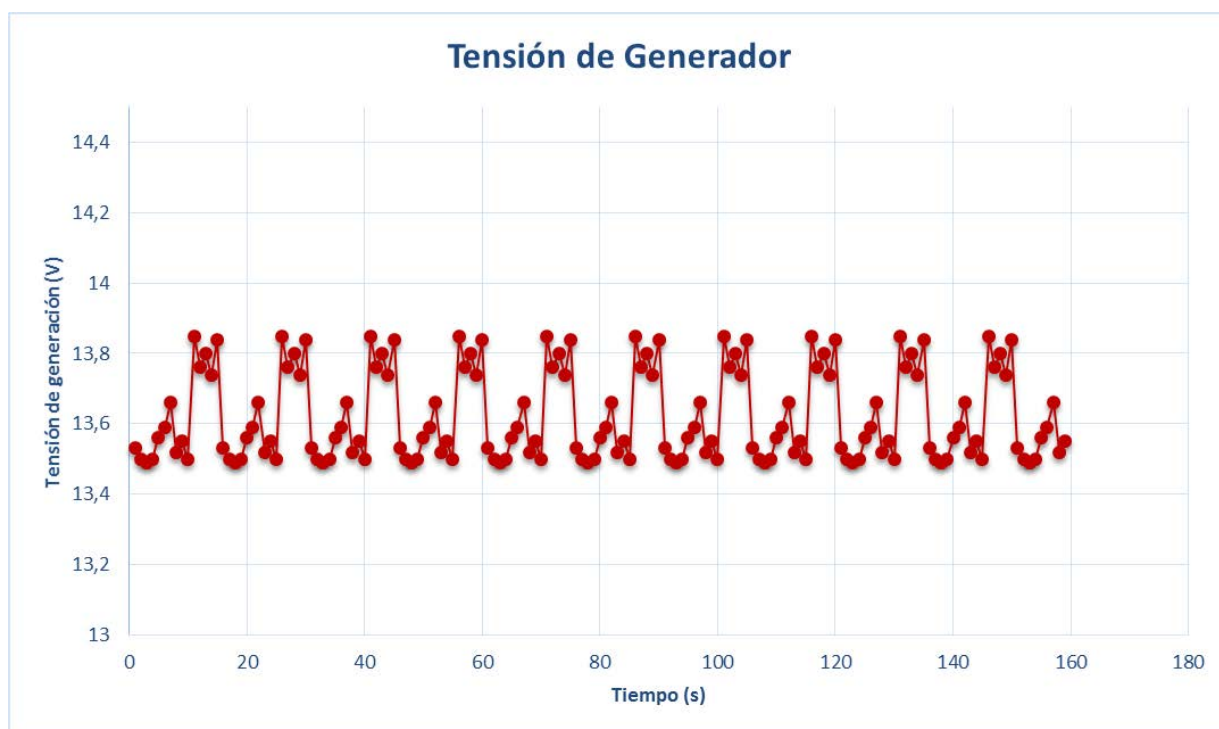


Ilustración 44: Tensión de Generador. 11,77 V iniciales.

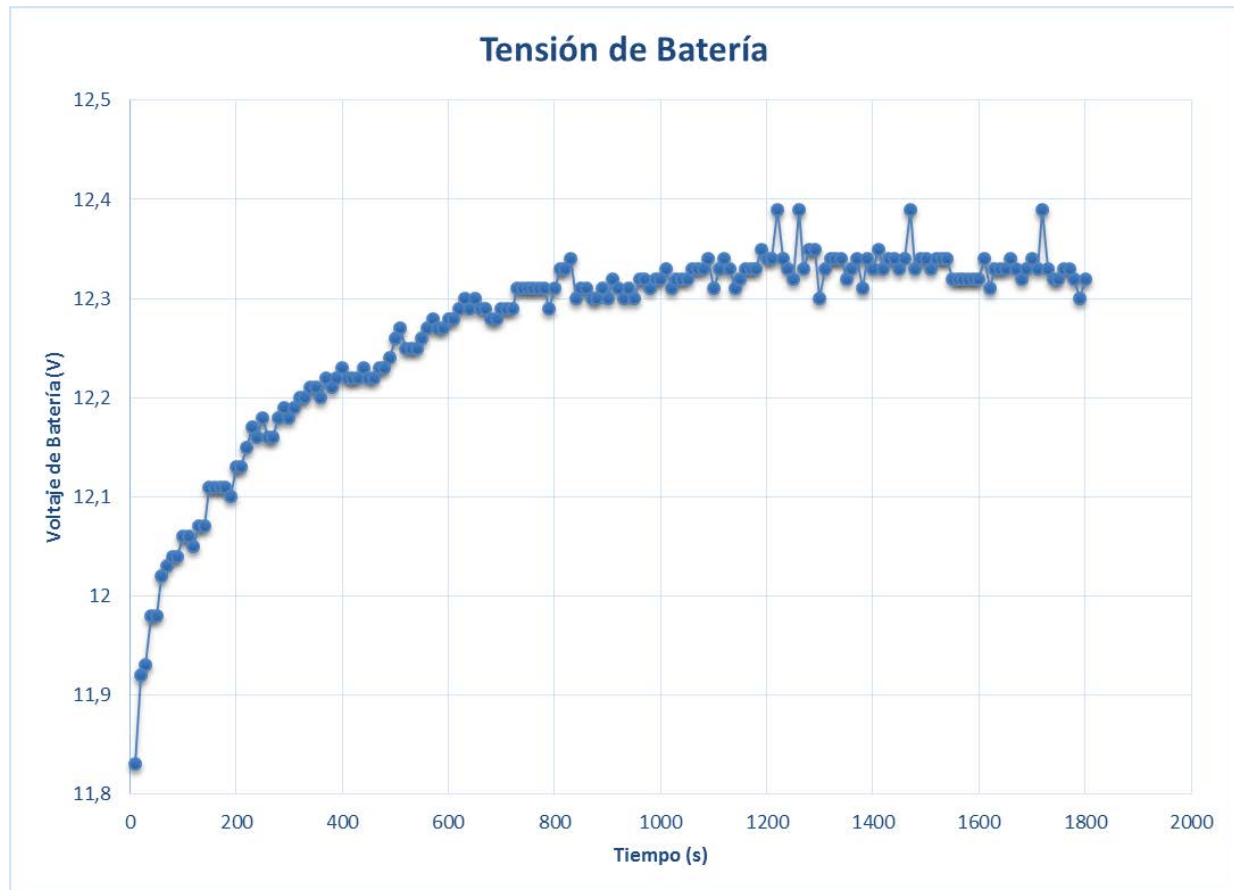


Ilustración 45: Tensión de Batería. 11,77 V iniciales.

Como en la primera prueba de carga de batería, se puede observar una tensión ascendente en la batería. En este caso no se observan en esta gráfica partes de regulación en la carga ya que ésta absorbe toda la potencia que se le envía; pero si se puede observar en el gráfico de tensión del generador como la tensión se regula cada cierto intervalo, manteniéndola en la franja de 13,82 y 13,44 como valores máximo y mínimo.

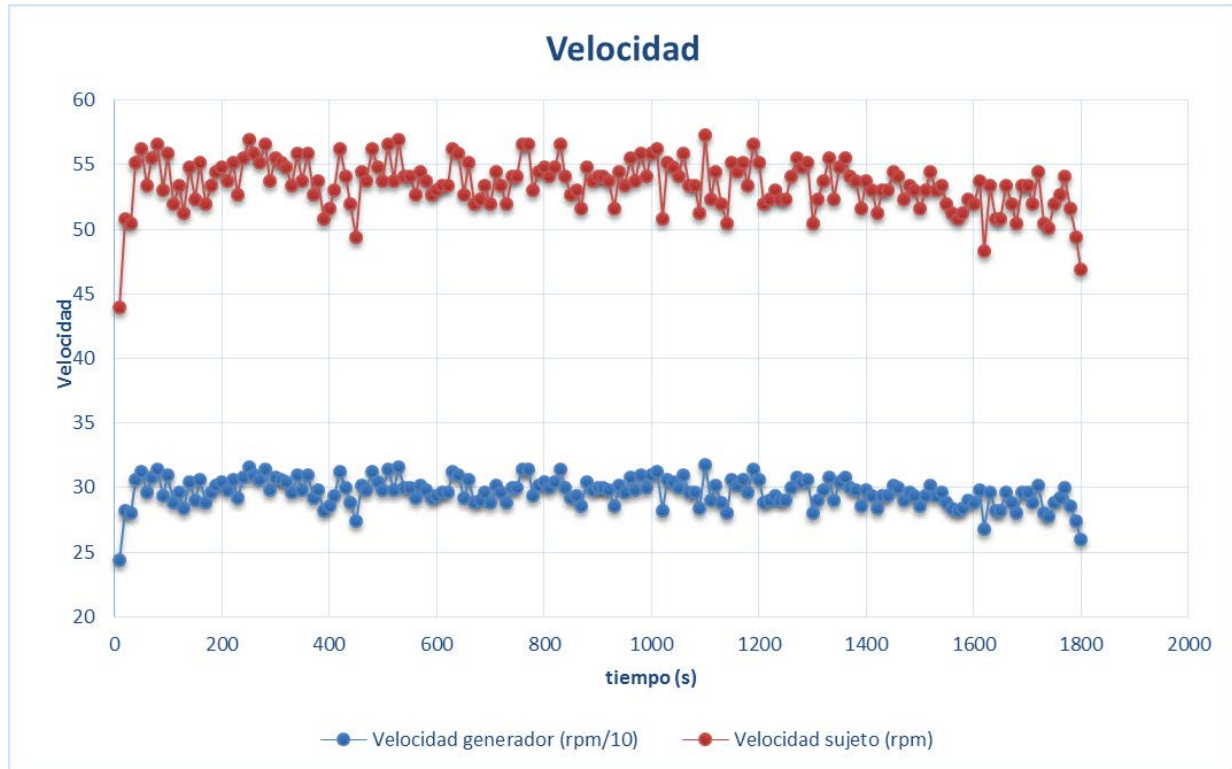


Ilustración 46: Velocidad de generador y del sujeto. 11,77 V iniciales.

En el gráfico de velocidades, volvemos a tener una velocidad mantenida en toda la prueba. En este caso las medias de velocidades del generador y del sujeto fueron de 296.733 y 53.5092 revoluciones por minuto.

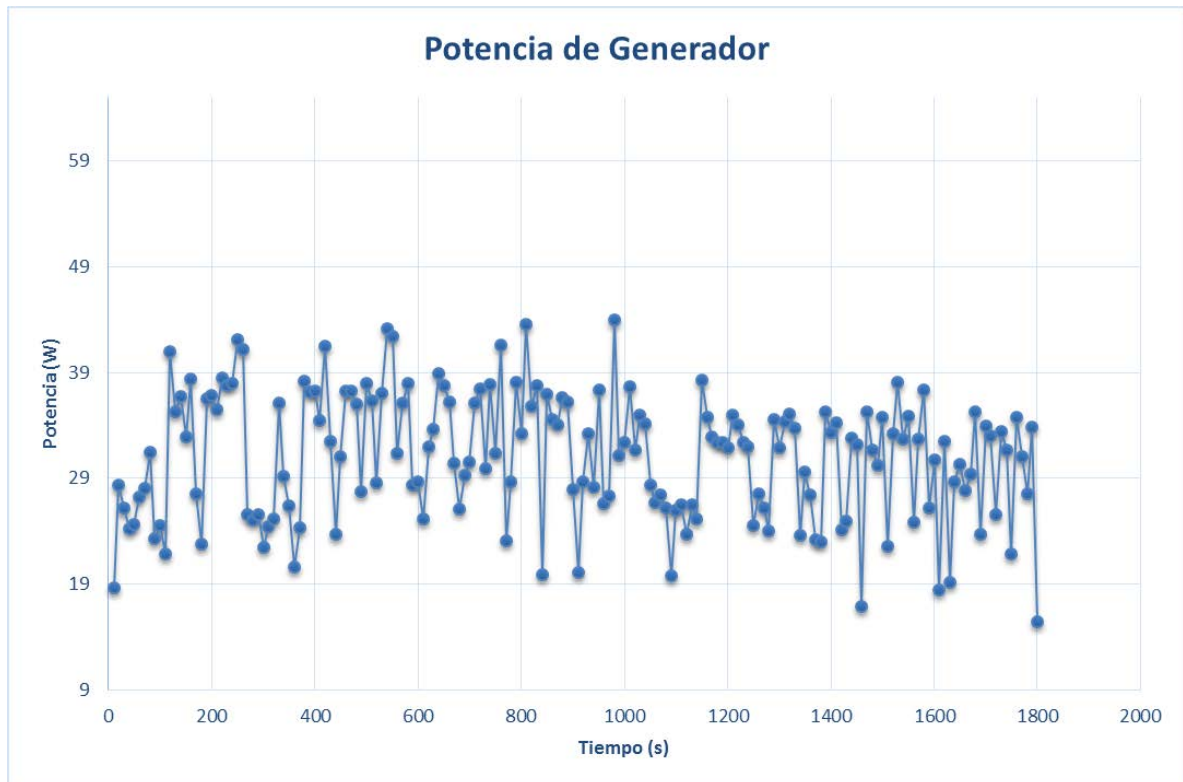


Ilustración 47: Potencia del generador. 11,77 V iniciales.

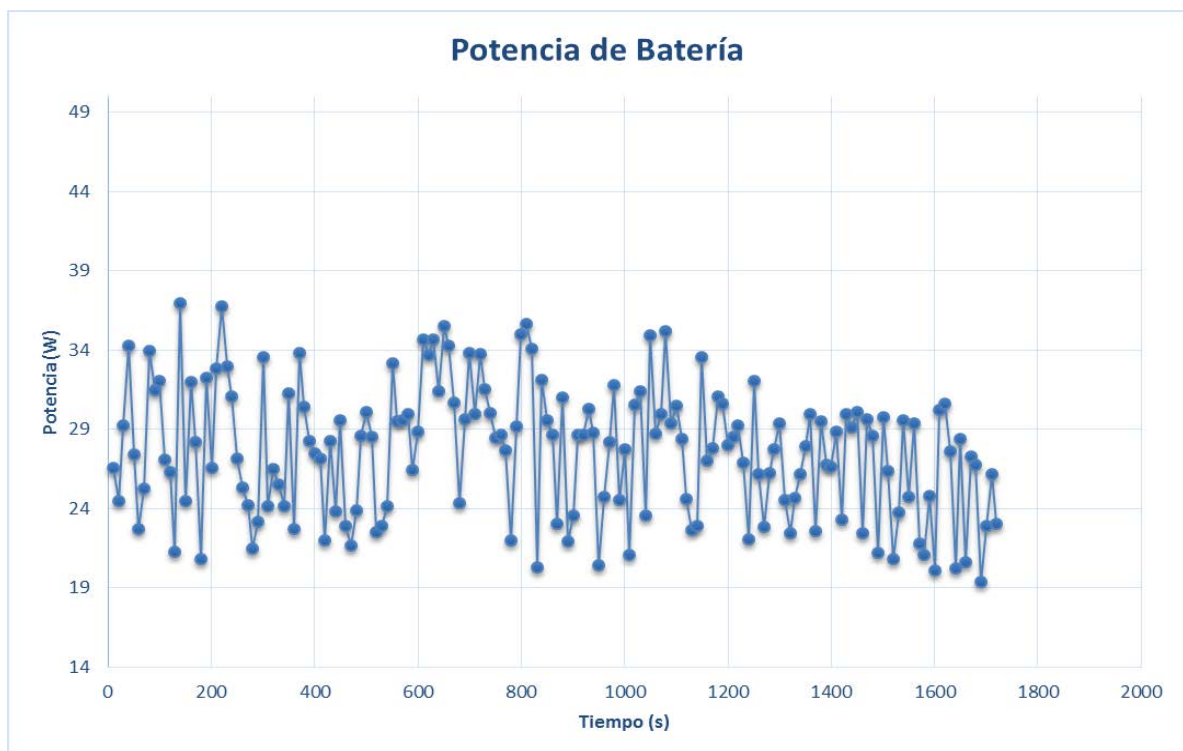


Ilustración 48: Potencia de la batería. 11,77 V iniciales.

Cuando observamos los gráficos de potencia, se vuelven a observar las oscilaciones de corriente que se generan al pedalear, hacen que la corriente no sea constante y que se tengan picos de potencia. Aun así se siguen manteniendo ambos dentro de la zona que permite la carga de la batería. En este caso, como la regulación no limita la capacidad del generador ni la potencia cedida a la batería, se mantiene la franja de potencias (que en el caso de la que absorbe la batería es de 19-37 W).

Al fijarnos en ambas pruebas, podemos ver que en el proceso de carga de la batería, ésta está absorbiendo una potencia pareja. La velocidad del generador así como la del sujeto, es algo inferior la primera prueba a la segunda. Al bajar un poco la velocidad, se logra que el regulador no actúe y así no devuelva la potencia en forma de freno al generador, ya que esto se traduce en una mayor resistencia al pedaleo por parte del sujeto que a su vez repercute en su cansancio físico a la hora de pedalear, ya que este se vuelve muy inconstante.

3.1.2.- Descarga de batería sobre diferentes cargas.

Para evaluar el consumo de energía (y darle un sentido más práctico al sistema de generación) se descarga de la batería con distintas cargas. Partimos pues de un sistema compuesto exclusivamente por el la batería, el regulador, cargas y aparatos de medida. Pero en este caso sin que funcione el generador, sin ningún sujeto pedaleando.

Se tiene el siguiente esquema para todas las pruebas, siendo la carga variable como se indica en cada apartado, para así poder ver la severidad de la descarga en función de la carga que se coloque:

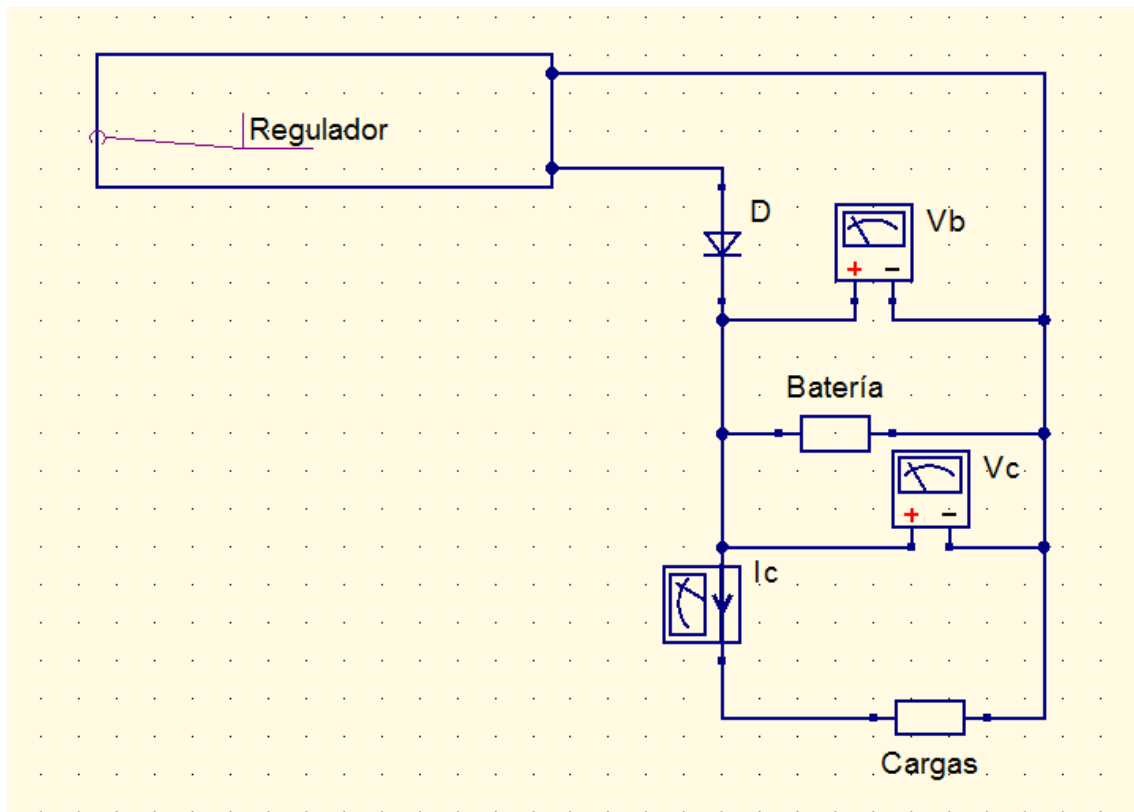


Ilustración 49: Esquema general de descarga.

Los datos que se obtienen en este esquema son:

- V_b : Tensión de batería.
- V_c : Tensión de carga.
- I_c : Corriente de carga.

Con estos valores se podrá obtener el valor de la potencia en la carga (W_c).

Se toma una muestra por cada 10 segundos. Un ejemplo de la relación entre éste tiempo y el número de muestras tomadas es:

$$240 \text{ muestras} * 10 \text{ s por muestra} = 2400 \text{ segundos}$$

$$\frac{2400 \text{ s}}{60 \text{ s}} = 40 \text{ minutos}$$

3.1.2.1.- Descarga sobre calentador de agua con 12,50 V.

En esta prueba se llena el calentador de agua descrito en el apartado 3.1 que tiene capacidad para 0,75 litros de agua hasta que el calentador cumple su función y desconecta de la batería.

Para observar el proceso de descarga, se analizan los datos una vez procesados.

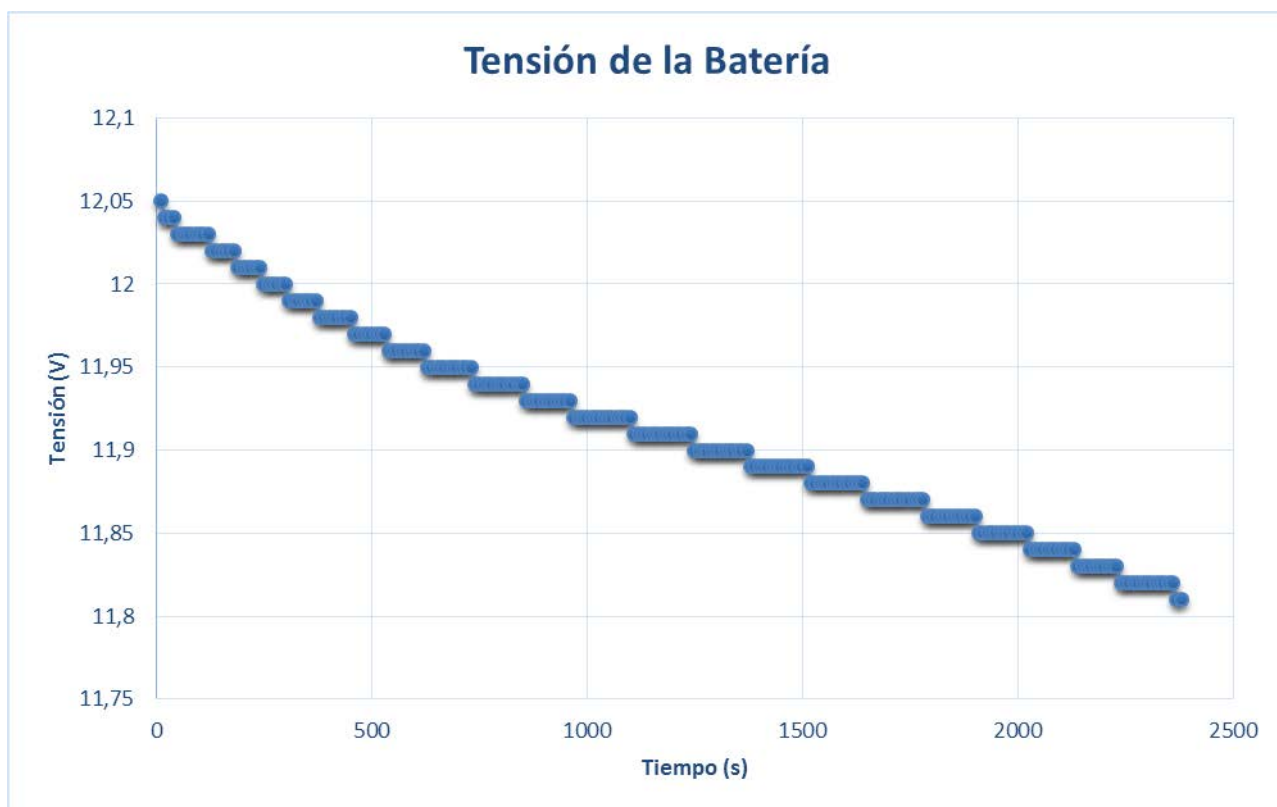


Ilustración 50: Tensión de la batería. Descarga sobre calentador.



La potencia media consumida por la carga asciende hasta un promedio de 125,42 W. La batería es de gran capacidad y aunque la carga demanda mucha potencia se observa que el proceso de descarga, a la vez que normal en una batería de plomo (al principio decae más rápido que al final, que es casi de valor constante hasta llegar el valor tras el cual no cede más potencia).

El fabricante del calentador ha diseñado el calentador para trabajar con 20 Amperios a 12 Voltios, tras ver la intensidad que circula por la carga que aparece en el multímetro, se observa que esta no aumenta de un valor máximo de 11,69 Amperios hasta un valor mínimo al final de la prueba de 11,44 A. No llega a obtener los valores que nos da el fabricante, eso es debido a que, al estar la batería y la carga conectadas al regulador, éste impone un límite de potencia cedida para así evitar las descargas de batería rápidas y dañar la batería.

Después de todo el proceso de descarga de la batería se observa, se procede a la estabilización de la batería y tras veinte minutos se mide la tensión de la misma teniendo esta un valor de 12,22 Voltios.

3.1.2.2.- Descarga de batería sobre nevera con 12,33 V.

Para este ensayo de descarga se conecta como carga la nevera de corriente continua descrita en el apartado 3.1. Tras realizar el proceso de descarga se procesan y analizan sus datos.

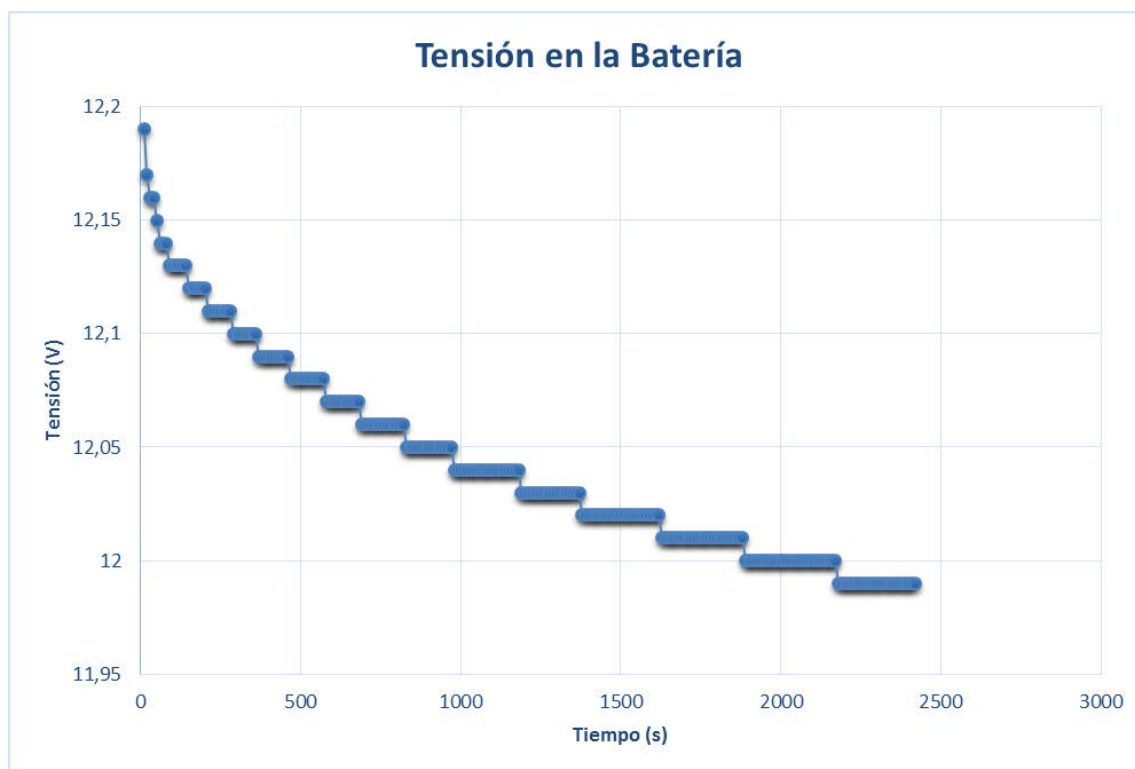


Ilustración 51: Tensión de batería. Descarga sobre nevera portátil.

En el gráfico de la tensión en la batería se observa que es normal la descarga de la misma con esta carga también conectada, al principio baja su tensión rápidamente hasta que llega a estabilizarse hasta bajar del valor mínimo y deja de entregar potencia.

La potencia promedio que se obtiene para esta carga es de 40,65 W que es menor que la anterior. El valor promedio de la corriente en los 40 minutos de descarga es de 3.45 Amperios y su oscilación es muy pequeña (solo al principio, durante los 100 primeros segundos de la toma valores, llega a tomar el valor de 3,93 Amperios de máxima en el primer valor de la muestra).

Una vez desconectada la batería y pasados veinte minutos, se observa la tensión en la misma para ver cuál es el voltaje final. En este caso el voltaje es de 12,23 Voltios. Se decide finalizar el ensayo en este valor, para poder contrastarlo con el del primer ensayo, pero la batería podría seguir suministrando energía.

3.1.2.3.- Descarga de batería con leds y cargador de móvil conectado con 12,32 Voltios.

Para este caso, se puso en la carga la más pequeña de todas, el cargador de móvil y los leds. Se procede a la conexión del circuito y la toma de datos.

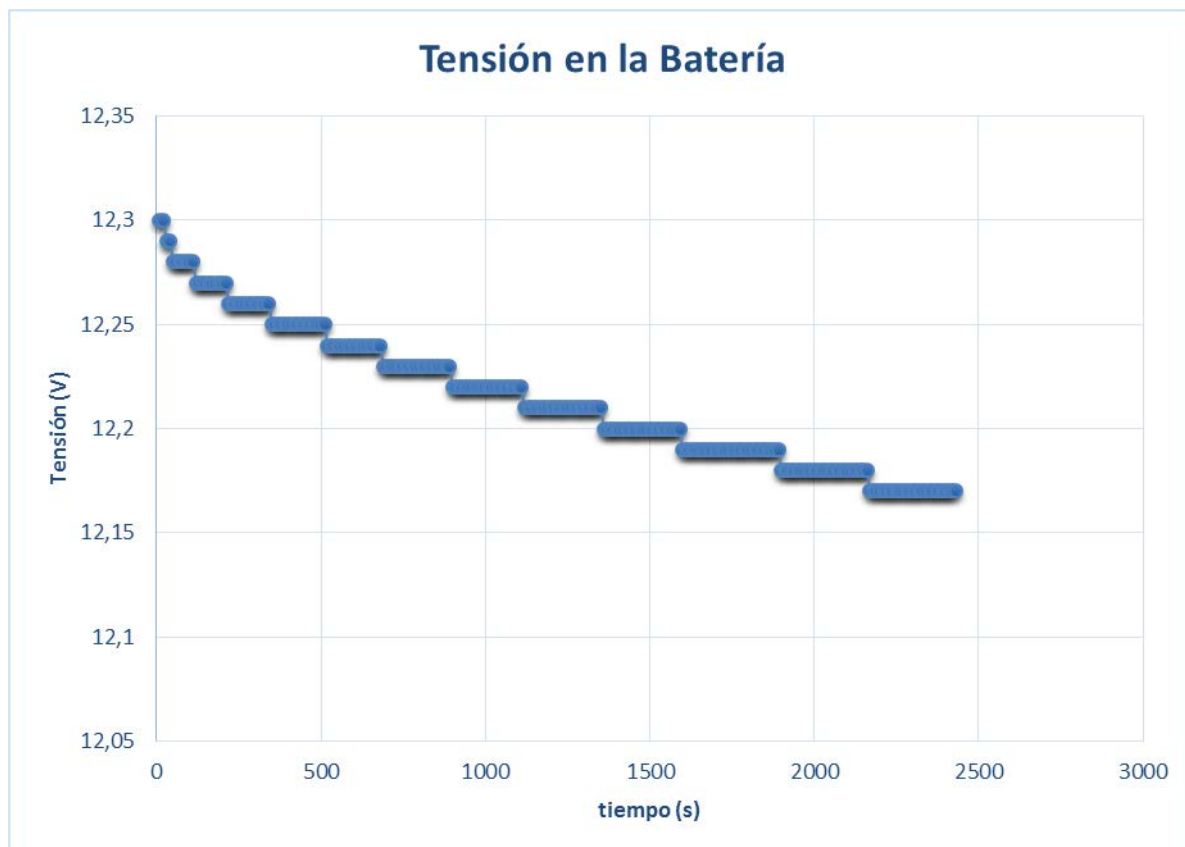


Ilustración 52: Tensión de Batería. Descarga sobre Leds y Cargador de móvil.

Tras el tiempo de prueba, el proceso de descarga se puede catalogar de normal, ya que vuelve a tener una parte de descarga rápida y otra de descarga más lenta. Esta carga absorbió durante la prueba un promedio de 4,4 W, del orden de 10 veces menor que la nevera (apartado 3.1.2.2). Su corriente media fue también inferior dando como valor medio 0,362 A, que es significativamente menor.



Reposada la batería se mide su tensión, siendo esta de 12,27 Voltios. Se observa entonces que la batería esta tiene un buen funcionamiento a nivel de descarga. Observando una descarga mayor de la batería cuando se consume más potencia y venida a menos cuando se conectan descargas menores. También es reseñable la acción del regulador para evitar las sobre descargas de la batería y su posible daño.

3.1.3.- Carga de baterías en periodos largos de pedaleo con diferentes cargas.

Una vez estudiado el proceso de carga y descarga de la batería, y observando que el prototipo funciona bien, se procede a la simulación de diferentes sistemas y situaciones reales para los que se pueda utilizar el prototipo.

3.1.3.1.- Batería con carga inicial 12.21 Voltios y nevera conectada.

La primera prueba se conectará en paralelo la nevera de corriente continua como carga. El esquema eléctrico que se utiliza es el siguiente:

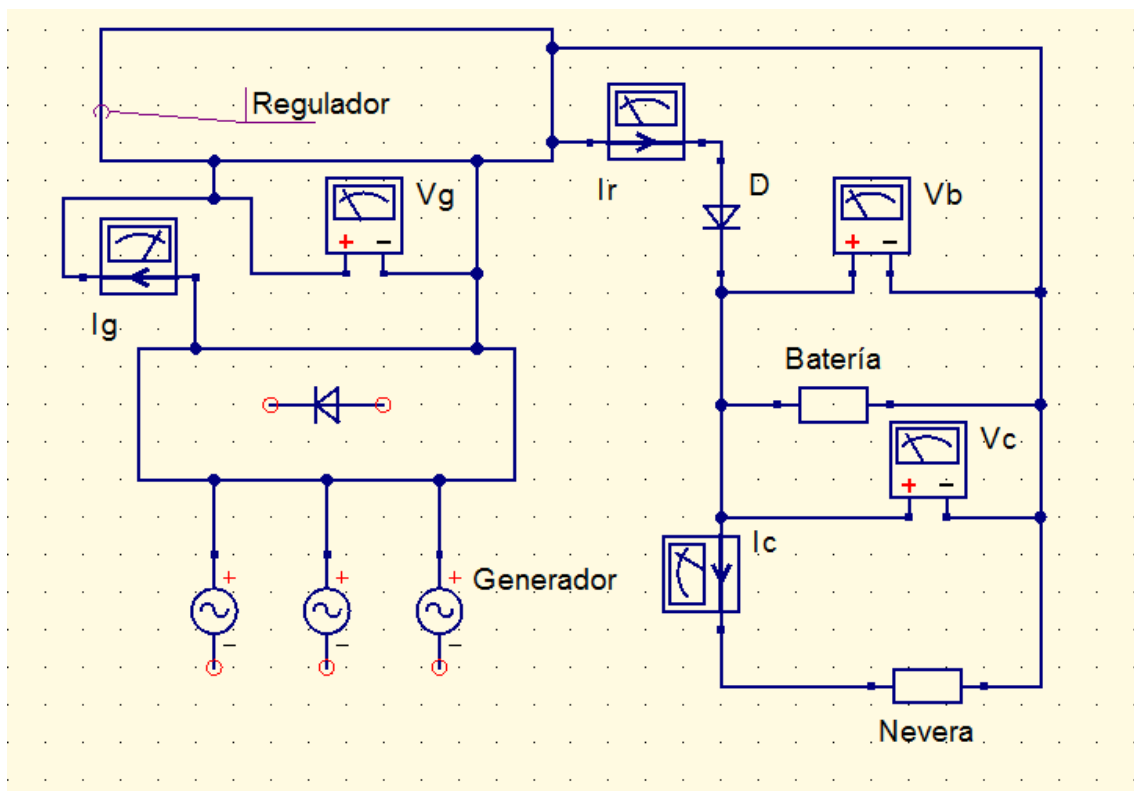


Ilustración 53: Esquema de carga de batería con nevera.

Una vez terminado el tiempo de prueba, se obtienen los siguientes datos:

- I_g : Intensidad del generador.
- V_g : Tensión del generador.
- I_r : Intensidad de salida del regulador a las cargas.
- V_b : Corriente de la batería.
- I_c : Intensidad de las cargas.
- V_c : Tensión en las cargas.

De estos datos se puede obtener:

- W_g : Potencia del generador.
- W_c : Potencia en las cargas.
- W_b : Potencia en la batería.

Con el velocímetro, volvemos a tener la velocidad del generador y la velocidad del sujeto (Ω_g y Ω_c respectivamente), la cual, se volverá a mantener constante durante toda la prueba para observar el proceso de carga de batería y la alimentación de la carga.

El valor inicial de la batería en esta prueba es de 12,21 Voltios. Una vez pasado el intervalo de 20 minutos desde que se deja de pedalear, se mide la tensión de nuevo teniendo esta un valor de 12.20 Voltios. En este caso se ve que la batería no se logró cargar, sí no todo lo contrario, ayudó al generador a alimentar la carga, es decir, la potencia principal la dio el generador, pero cuando este no llegaba a alimentar la carga, la batería era la encargada de donar la energía sobrante.

Los datos obtenidos son analizados y graficados obteniendo los siguientes resultados:

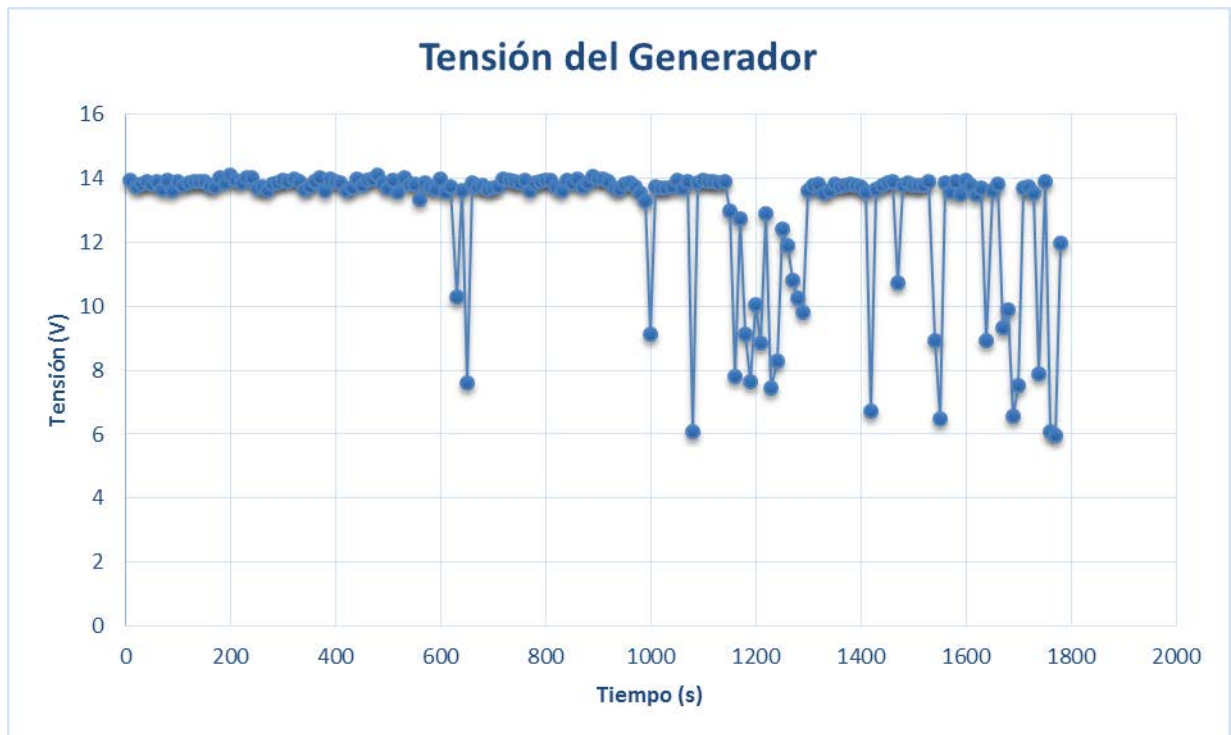


Ilustración 54: Tensión de generación con nevera conectada.

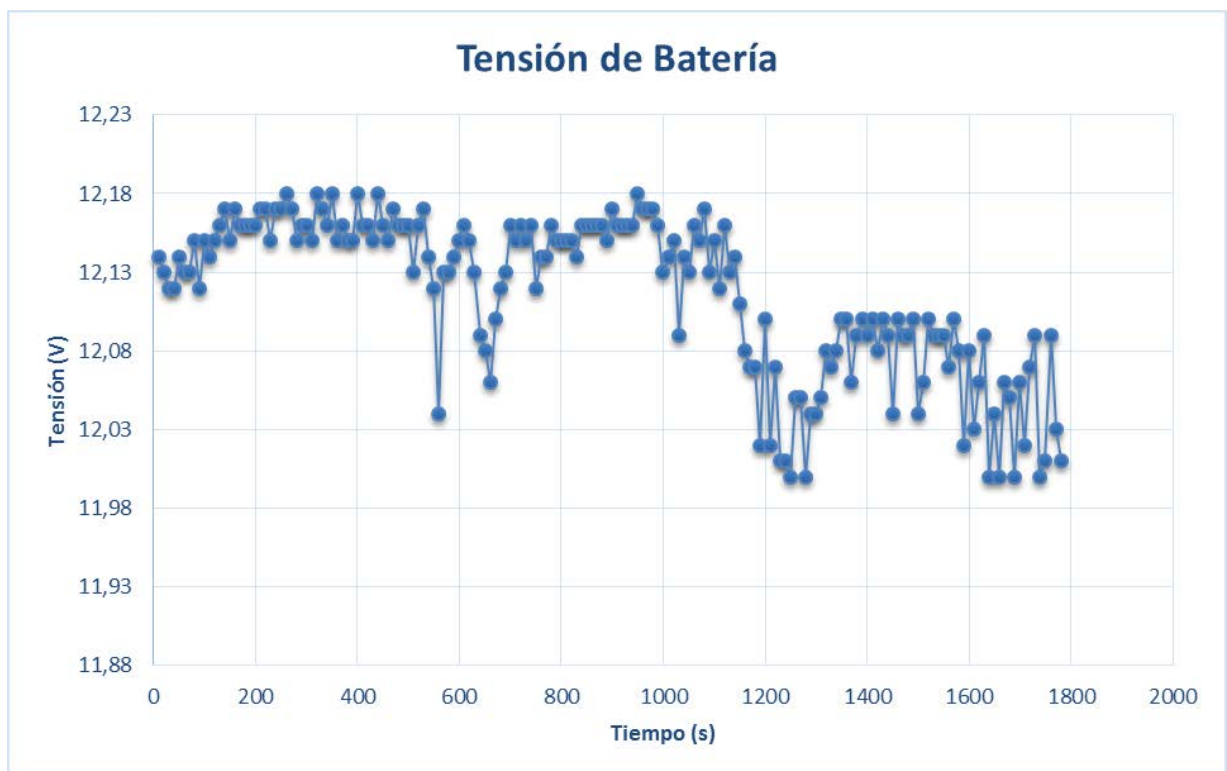


Ilustración 55: Tensión de Batería con nevera conectada.

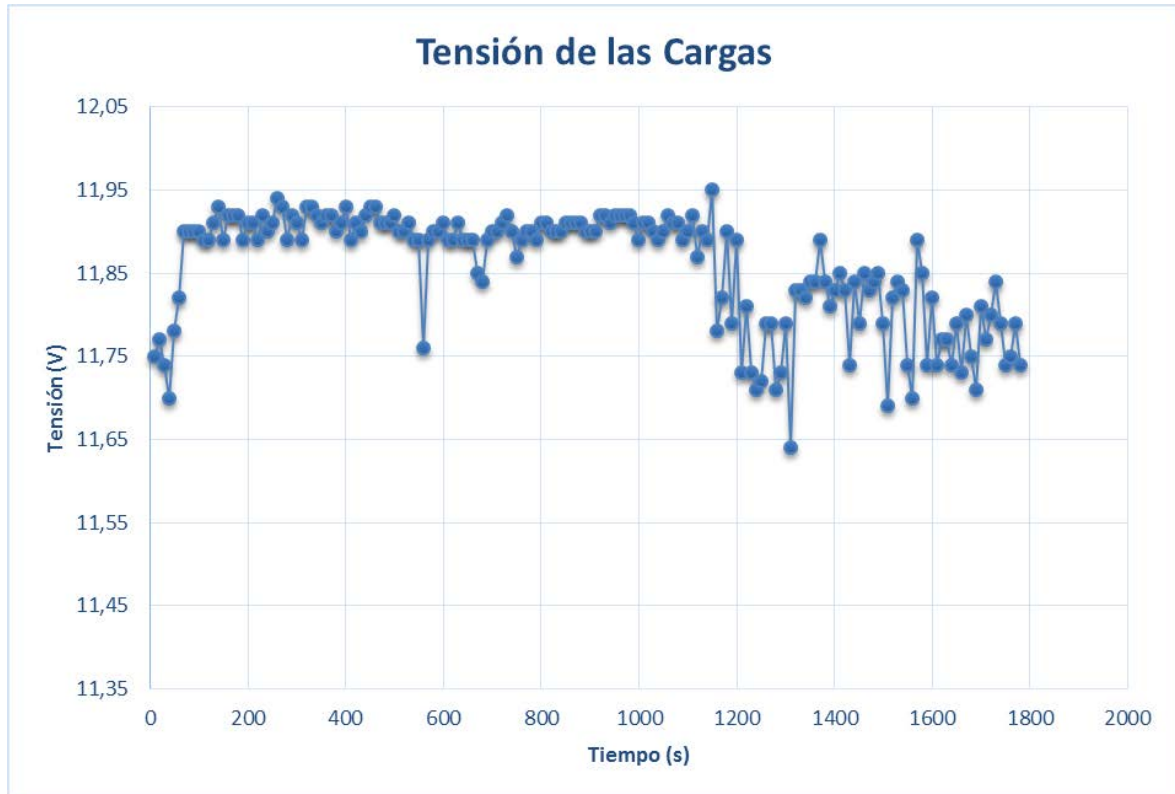


Ilustración 56: Tensión en la carga.

En el tramo comprendido entre los 0 y los 1100 primeros segundos, la tensión de generación se mantiene constante con valores en torno a los 13.9 Voltios mientras que a partir de ese momento, se sobrepasa la tensión en la generación provocando que el regulador vuelva hacer su función y esto deriva en menor potencia cedida a las cargas.

Esto es paliado por la batería, que en ese momento cambia su flujo de potencia y en vez de ser un receptor, entra a formar parte del aporte de potencia necesaria para alimentar la carga. Este proceso se observa en la segunda gráfica, la cual a partir del segundo 1100 empieza a bajar el nivel de tensión.

También se puede observar este fenómeno de flujo de cargas en la nevera que ve como su tensión empieza a fluctuar.

La tensión que tiene la carga, es menor que la de la batería, al estar en paralelo deberían tener la misma, pero se observa que es menor. La caída de tensión es debida a los valores resistivos que se oponen al paso de la corriente en las conexiones y cables, pero esta diferencia es demasiado grande, y como se verá en las siguientes pruebas, solo pasa cuando la nevera está conectada. Se justifica con la mayor resistencia del cableado de conexión.

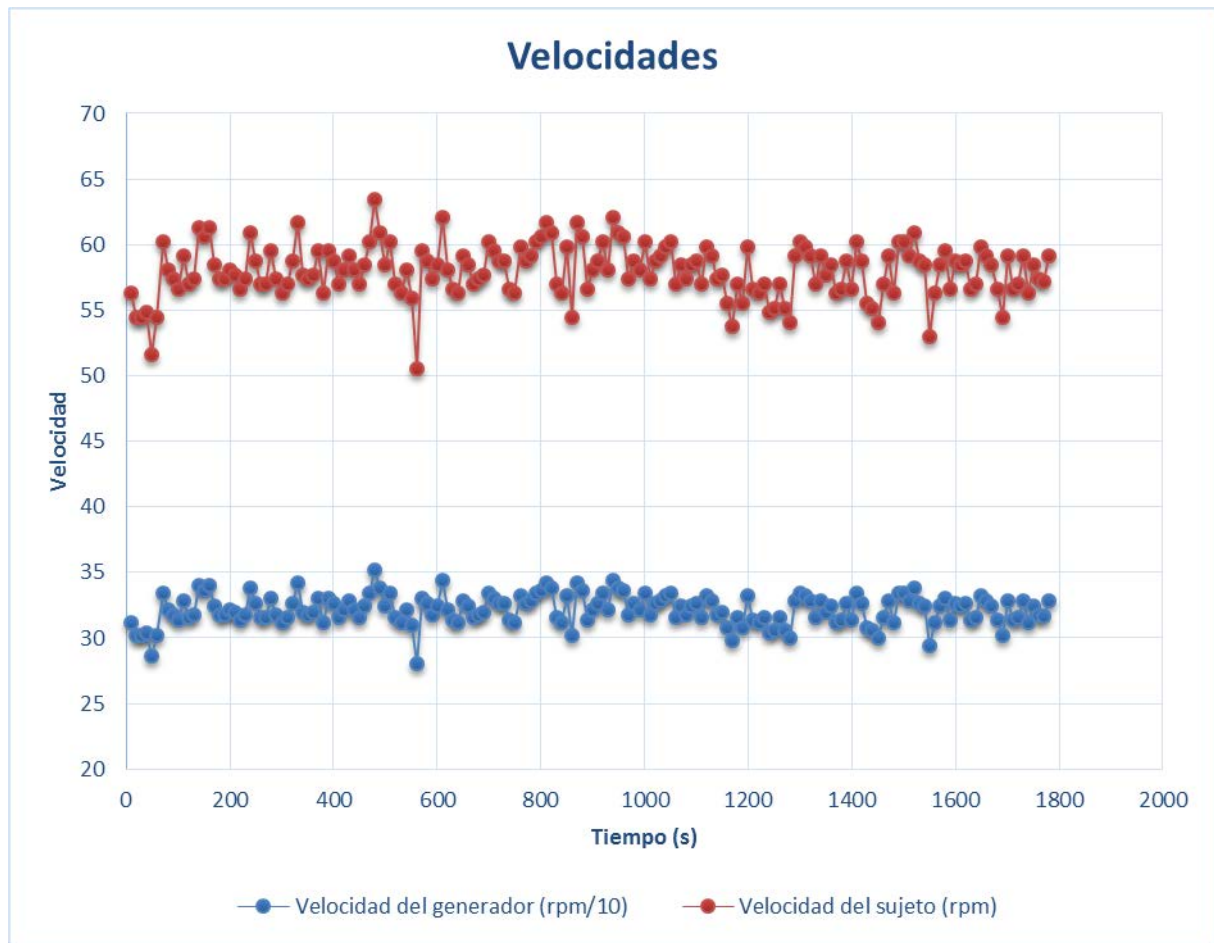


Ilustración 57: Velocidades del generador y del sujeto. Nevera conectada.

Se vuelve a graficar las revoluciones del generador divididas por 10 para poder ver ambas. Volvemos a ver que la velocidad del generador es de media 321,6 rpm y la del ciclista es de 58 rpm. En este caso, la potencia consumida por las cargas nos ayuda a tener un margen de pedaleo mayor, ya que ofrece más par resistivo al generador, haciendo que gire un poco más rápido para llegar al mismo nivel de tensión sin que haga la regulación.

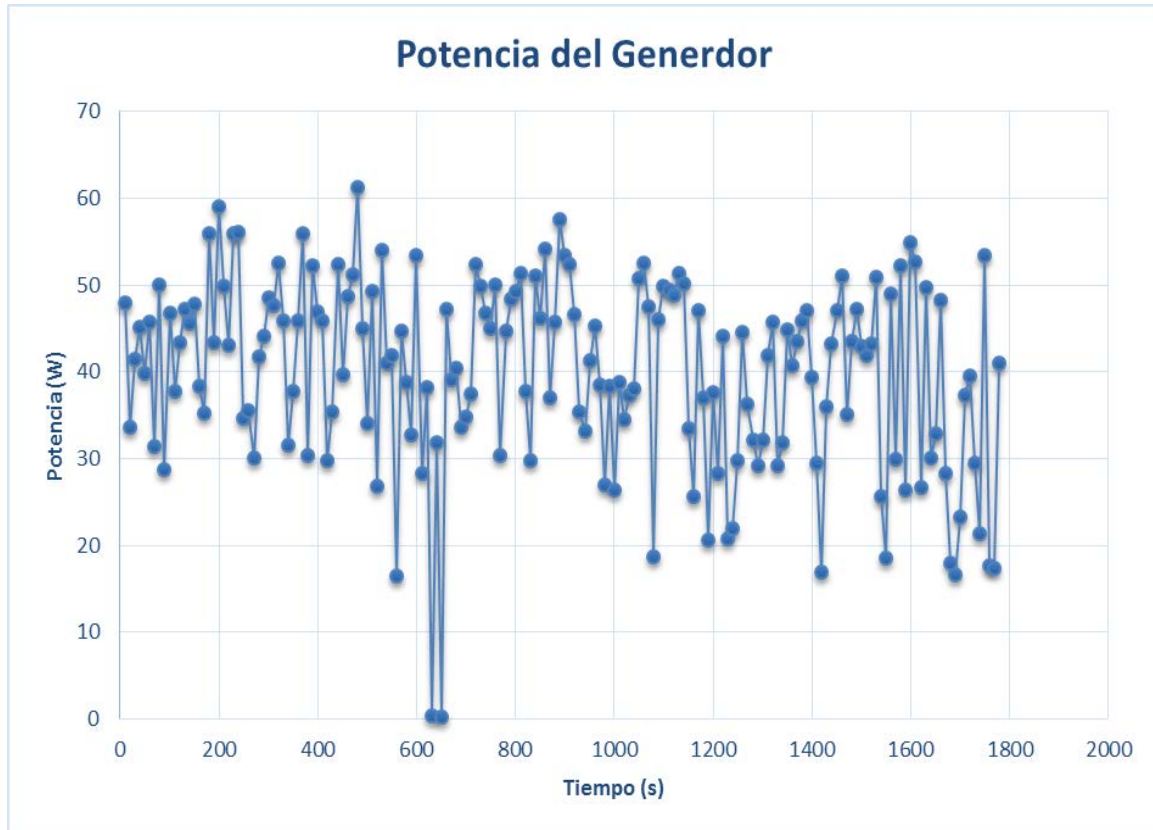


Ilustración 58: Potencia del generador con nevera.

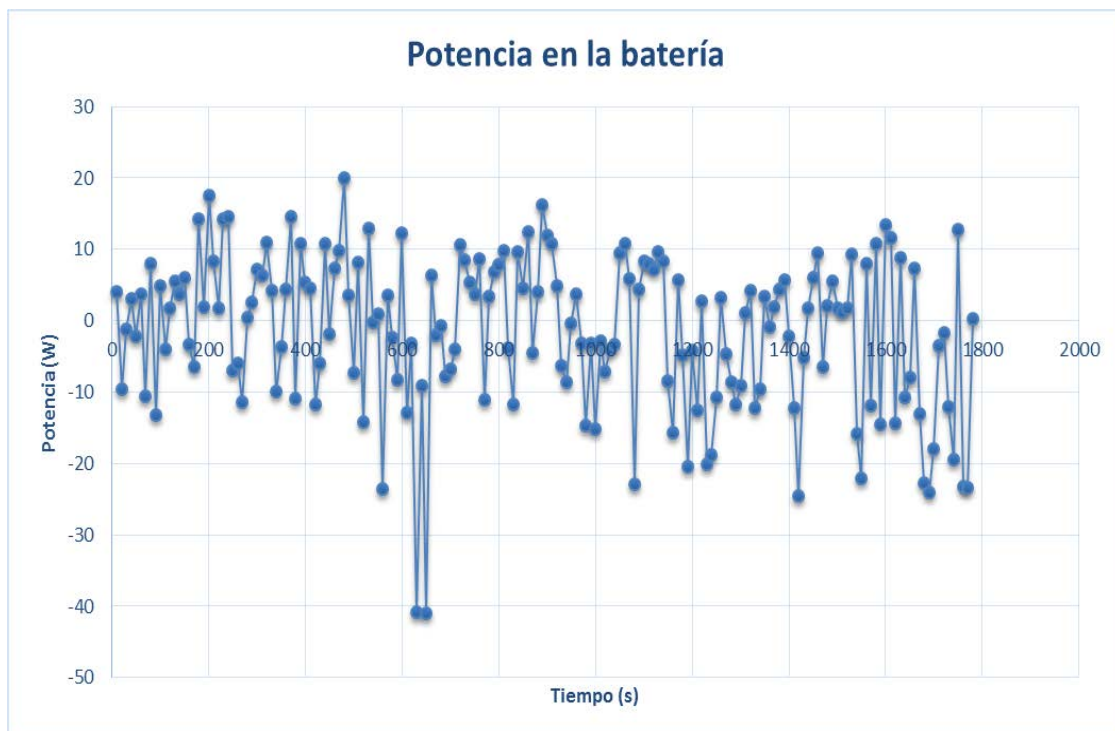


Ilustración 59: Potencia en la batería con nevera.

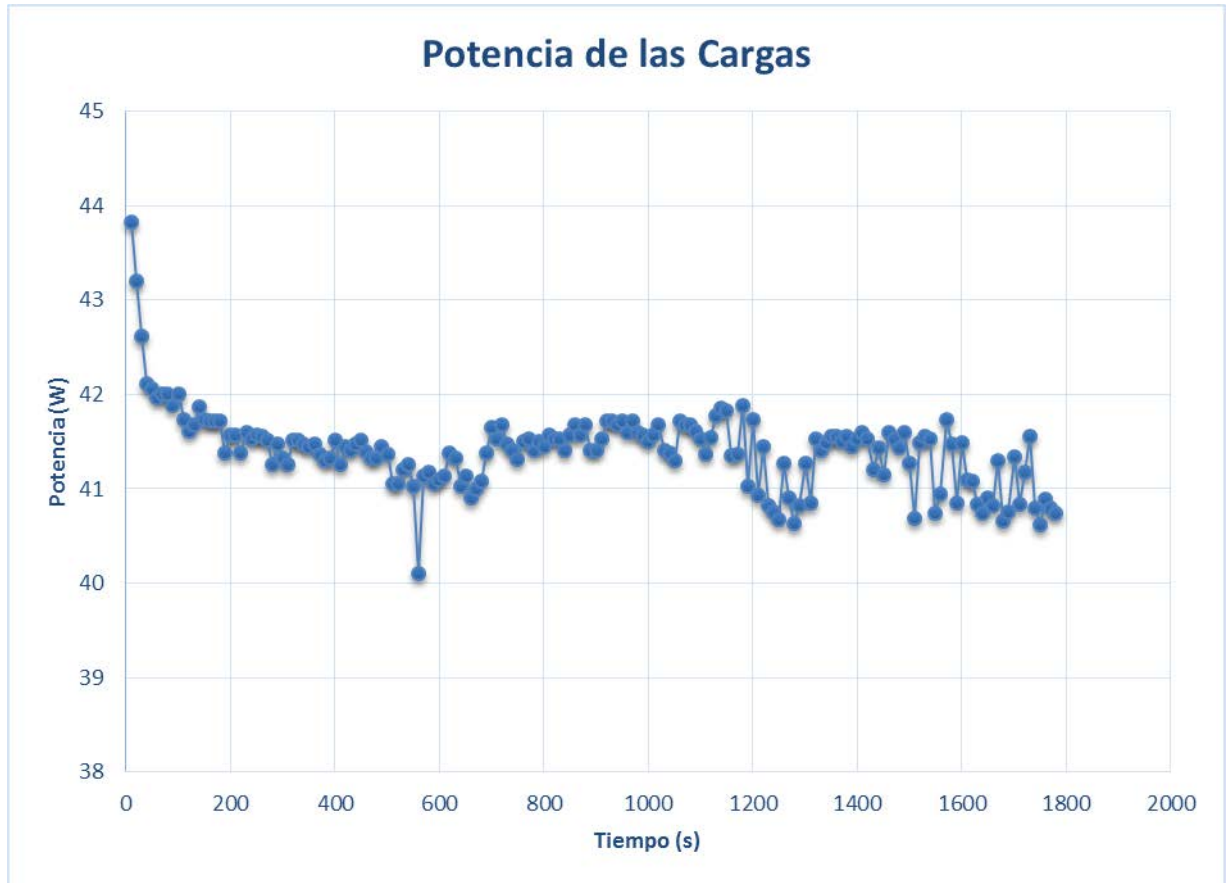


Ilustración 60: Potencia en la carga.

En los gráficos de potencia se aprecia el fenómeno descrito antes. Cuando la potencia en la batería es de salida o de entrada en función de cómo vaya el flujo de sus cargas y tenga que aceptar o ceder potencia a la carga para suplir las carencias del generador.

En las cargas la potencia se ve que empieza demandando más y se estabiliza a medida que pasan los primeros segundos, esto es debido a un aumento inicial de la demanda de corriente por la carga. Se puede apreciar el fenómeno de regulación al final y la variación de la tensión provoca esta inestabilidad, ya que la corriente es estable y no varía más de 0,05 Amperios en su zona de reposo.

En cuanto al gráfico de se observa que los datos se mueven en torno a la franja que se menciona en los puntos anteriores.

3.1.3.2.- Carga de batería con 12,19 Voltios, cargador de móvil y leds conectados.

Para esta prueba se conecta en paralelo el cargador y los leds, en paralelo con la batería según como se describe en el esquema siguiente:

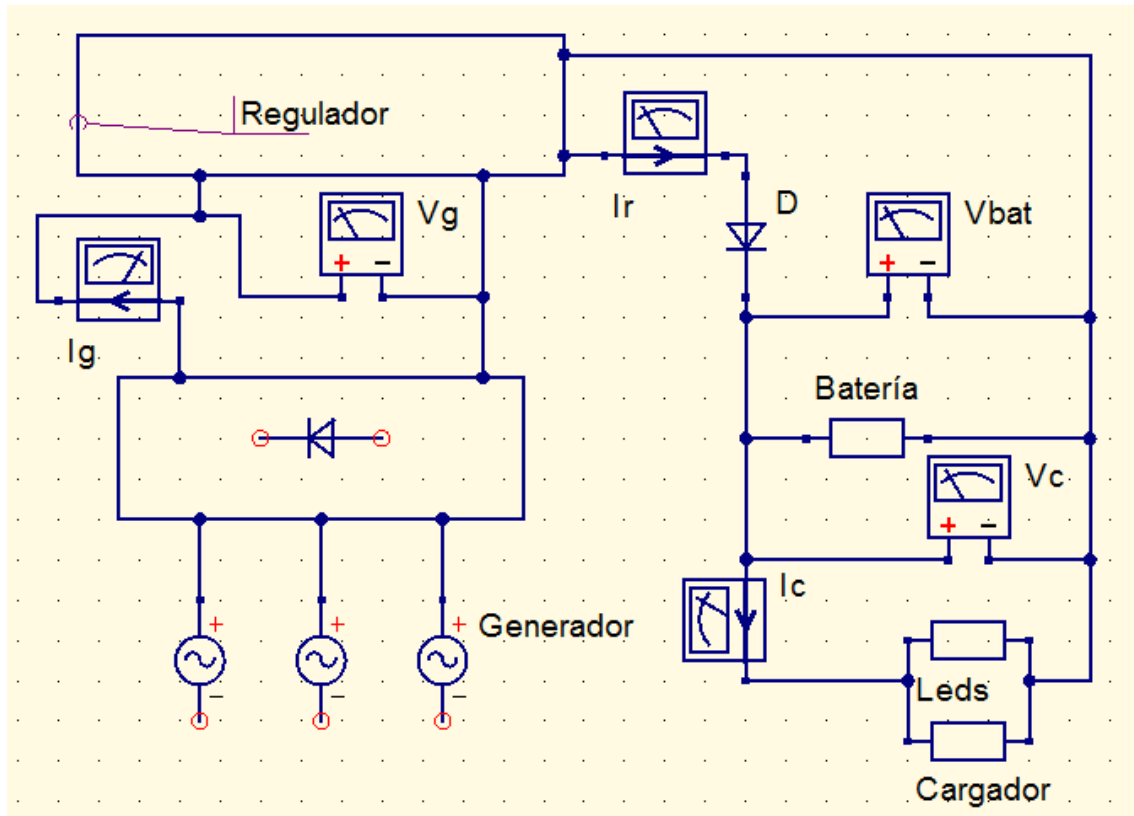


Ilustración 61: Esquema con leds y cargador de móvil.

Los datos que se pueden obtener de este circuito coinciden con los del ensayo del apartado 3.1.2.1, es decir, V_g , I_g , I_r , I_c , V_c y V_b . Por lo que se pueden obtener los datos de W_c , W_b y W_g . Además de las velocidades de generación que nos da el velocímetro las cuales son, Ω_g y Ω_c correspondientes al generador y el ciclista.

Se procede a hacer el ensayo y tras los veinte minutos de descanso para estabilizar las cargas de la batería se puede observar que esta tiene un voltaje de 12,35 Voltios. Tras los cuales se obtienen los siguientes resultados:

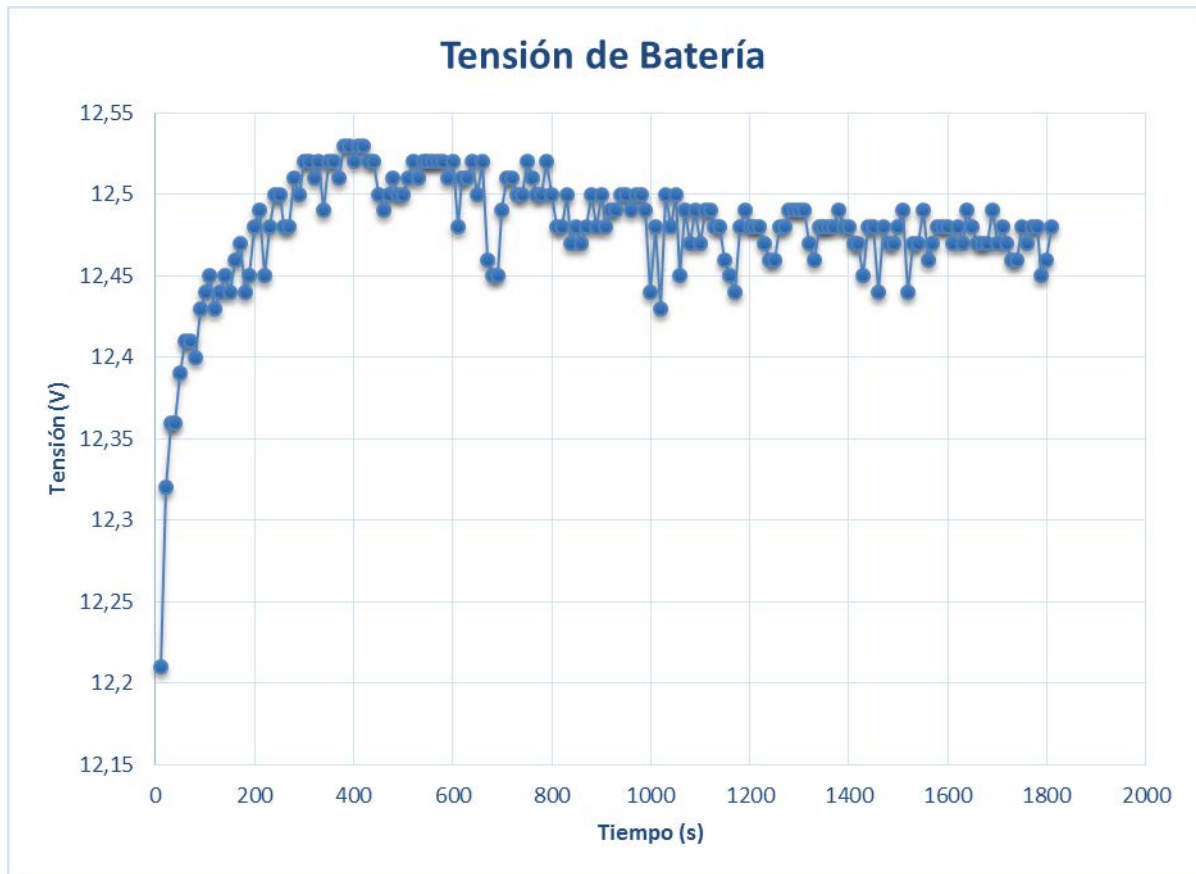


Ilustración 62: Tensión en la batería. Leds y cargador de móvil conectados.

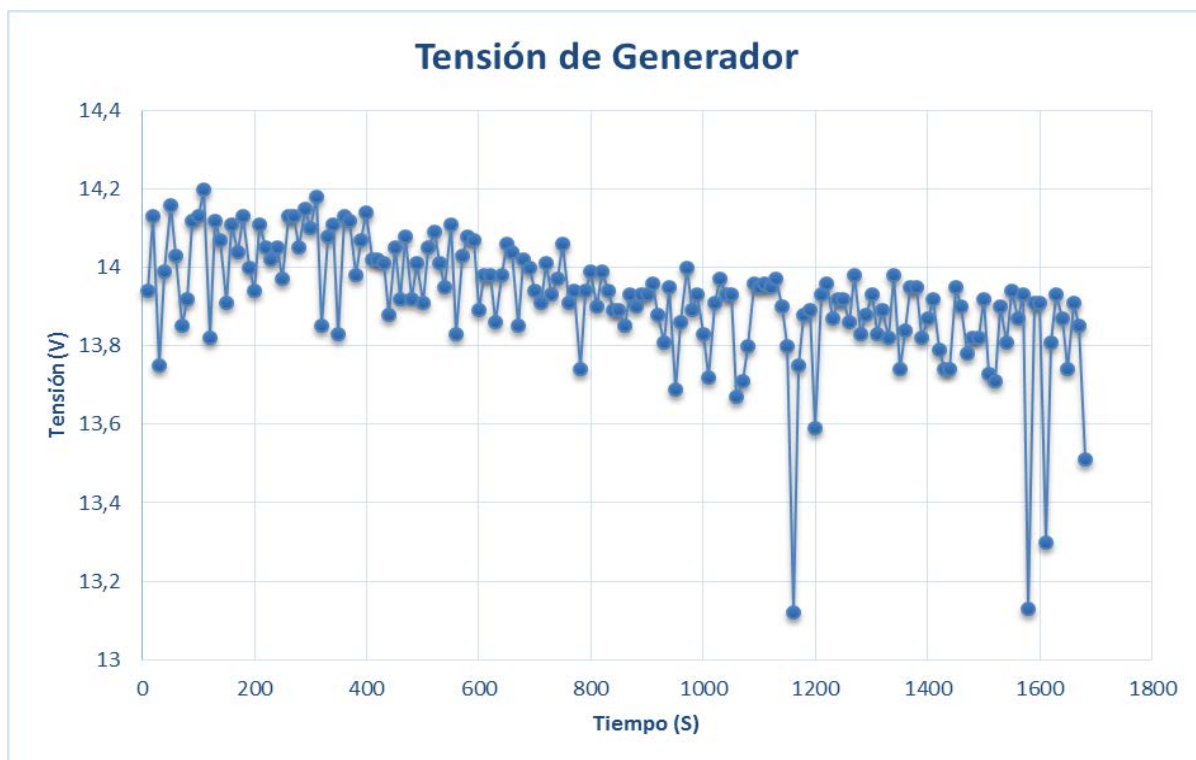


Ilustración 63: Tensión en el generador. Leds y cargador de móvil conectados.

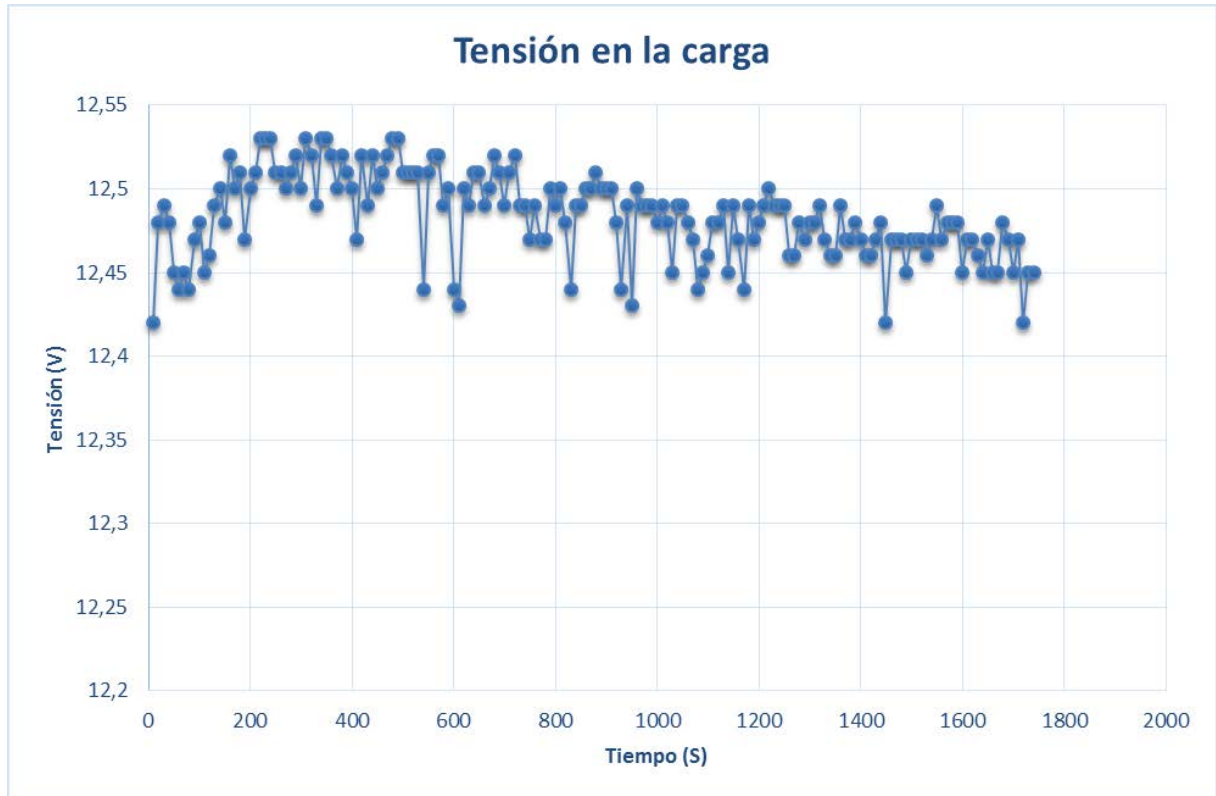


Ilustración 64: Tensión en la carga.

En este caso la demanda de la carga es menor, por lo que se puede observar una subida de tensión en la carga. El generador es capaz de alimentar las cargas y a su vez es capaz de cargar la batería hasta valores de tensión altos. Se puede observar que llega a un punto máximo y después se estabiliza, e incluso decae, más adelante se explicará este fenómeno y a qué es debido.

En el generador se puede ver como la tensión es constante y tiene valores por encima de los 14,02 Voltios que automáticamente, son corregidos por el regulador haciendo que aparezcan más picos y no una linealidad como en los ensayos anteriores. En cambio cuando observamos la tensión en la carga esta sí se mantiene constante, variando muy poco su tensión y haciendo que los leds se enciendan y el móvil se cargue.

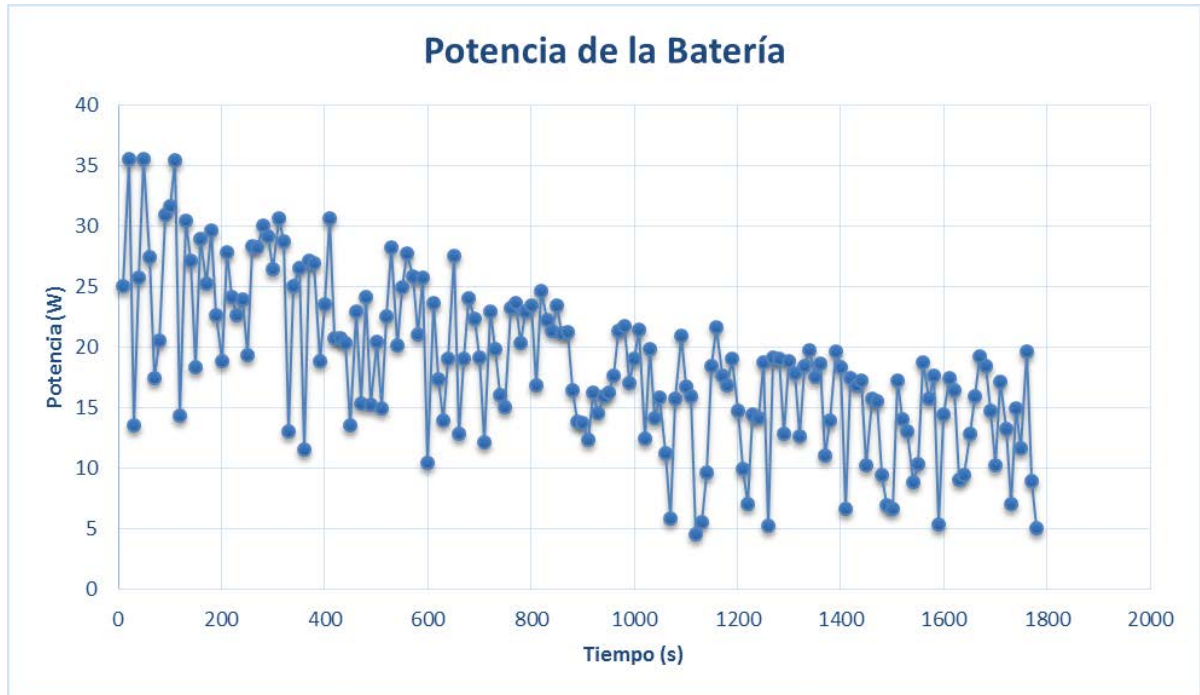


Ilustración 65: Potencia en la batería. Leds y cargador de móvil conectado.

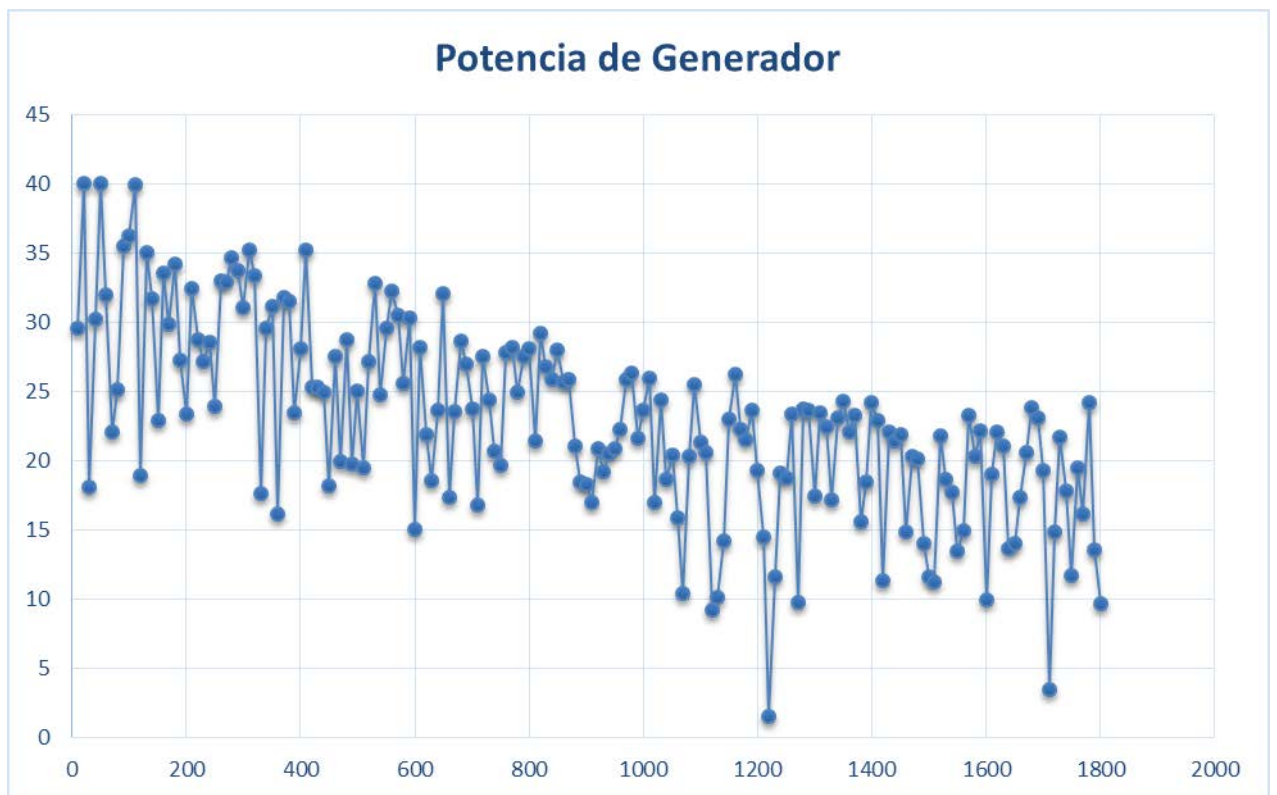


Ilustración 66: Potencia en el generador. Leds y cargador de móvil conectados.

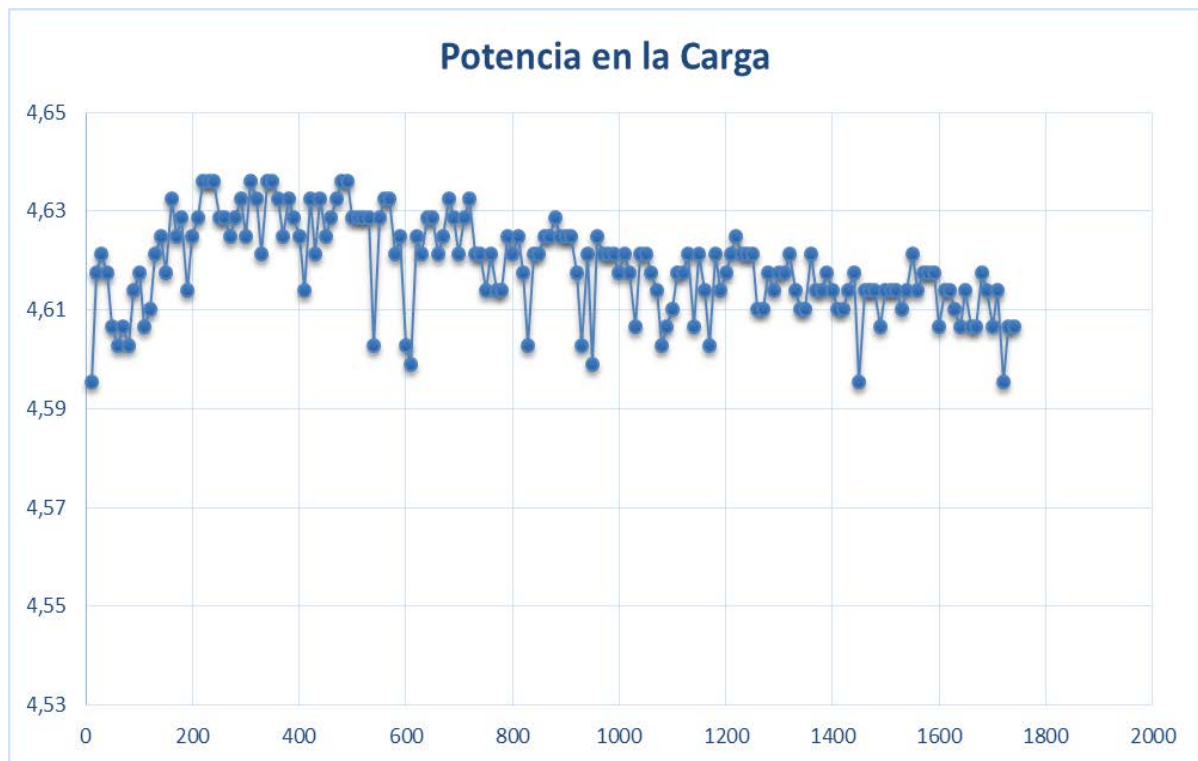


Ilustración 67: Potencia en las cargas.

En este caso, la potencia en la batería se observa que se mantiene en valores por encima de cero; con ello se logra que la batería esté actuando como un receptor de potencia y por ello esté cargándose. No obstante, se puede observar en la ilustración 65 y en la ilustración 66 una disminución en sus franjas de potencia mientras que en la carga dicha potencia se mantiene con valores constantes.

Si observamos el gráfico de velocidades del generador y del ciclista (ilustración 68) se ve como hay una disminución en las revoluciones, es decir, se está generando menos potencia. Esta disminución de la velocidad es debida a un cansancio del sujeto en el tiempo. El sujeto intenta mantener la velocidad constante, pero le es muy complicado, ya que requiere de cansancio por parte del mismo. El cansancio es difícil de medir y no se puede estimar, ya que depende de cada sujeto, como se explicó en la introducción.

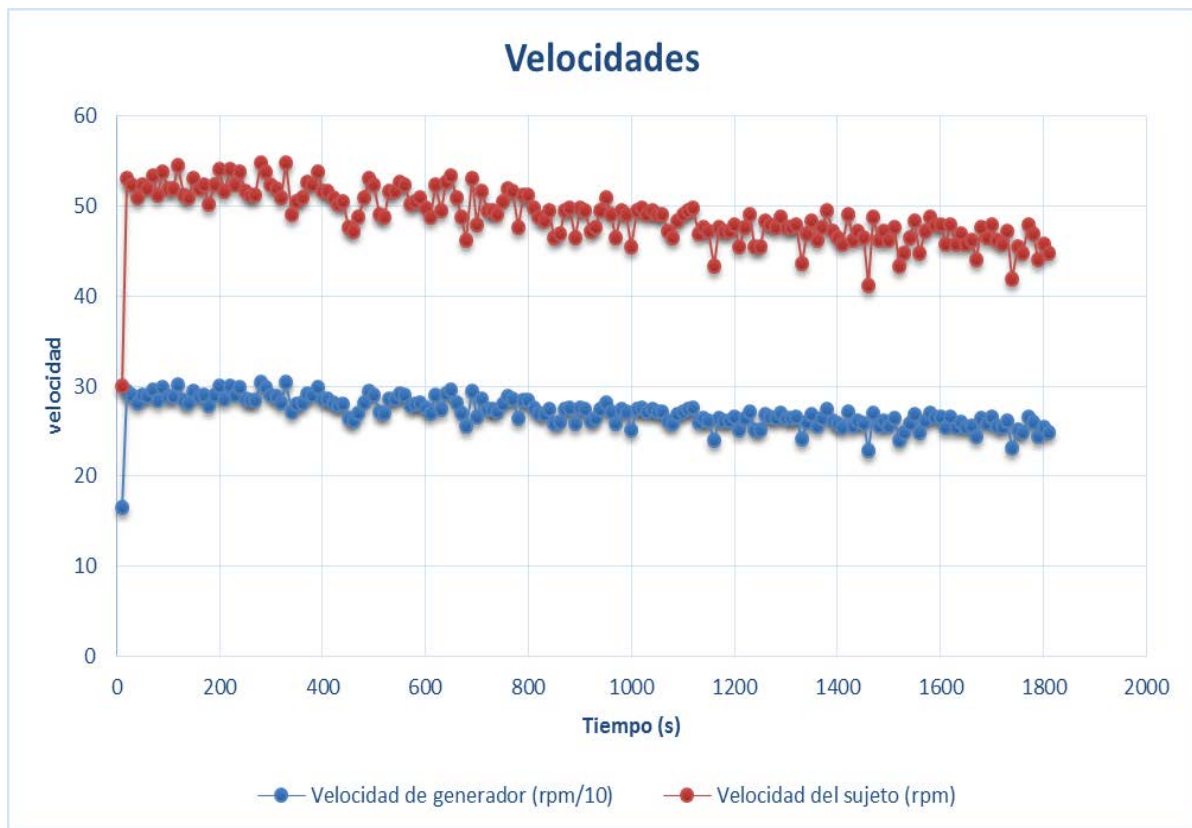


Ilustración 68: Velocidades del generador y del sujeto. Leds y cargador conectados.

En el gráfico se observa la disminución de la velocidad antes descrita, pero aun así se puede ver que se está manteniendo una velocidad media en el generador y en el sujeto de 271,9 y 49 rpm respectivamente. Es menor que los ensayos anteriores ya que el par resistivo que ofrece esta carga es mayor que el que ofrece las anteriores.

3.1.3.3.- Carga de batería con 12.20 Voltios, cargador de móvil, leds y nevera.

En este caso y como última prueba de carga, se alimentan tres cargas para ver como actuaría el sistema y si el ciclista es capaz de asumir la carga de batería a la vez que alimenta estas cargas.

Para ello se dispone del siguiente circuito.

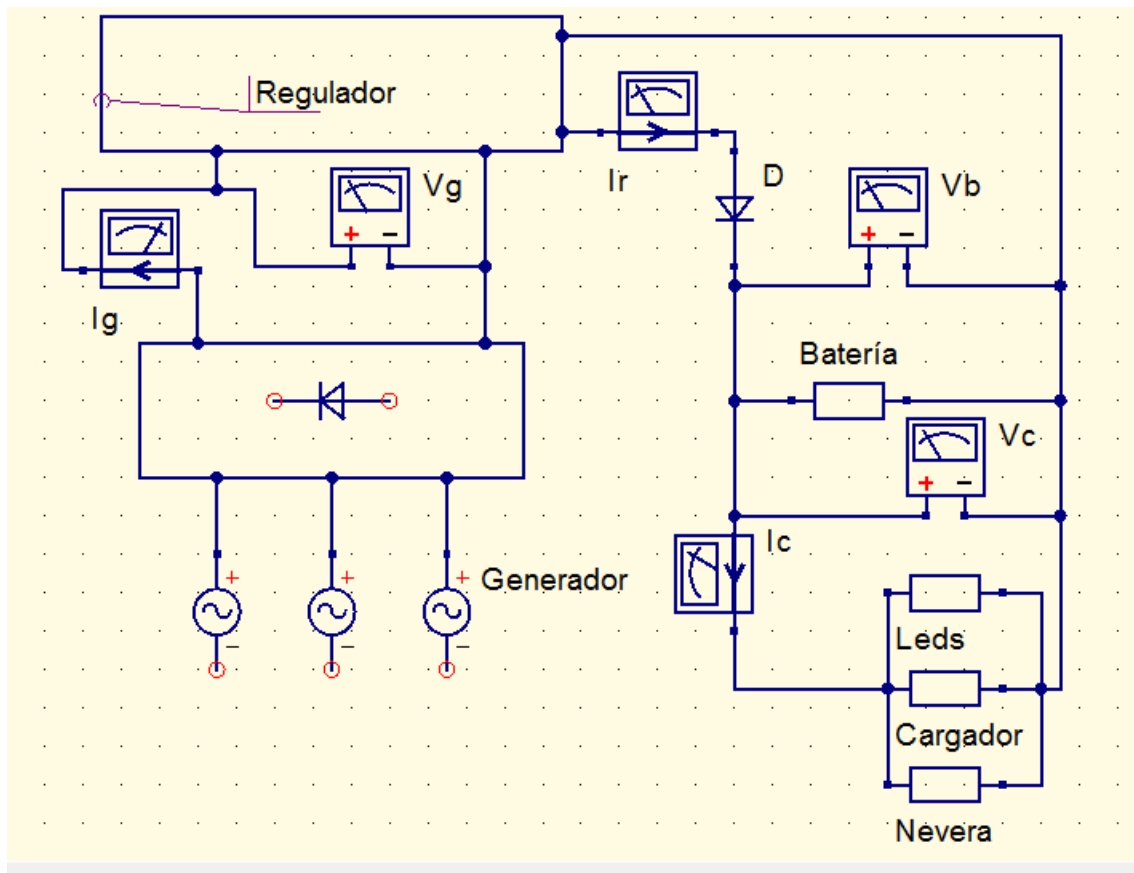


Ilustración 69: Esquema con tres cargas y batería con 12.20 V de inicial.

Como anteriormente, se deja reposar la batería veinte minutos como tiempo estipulado para que las cargas se estabilicen y al medir la tensión en la batería se obtiene el valor de 12,19 Voltios de carga. Los datos también son los obtenidos en el apartado anterior, siendo estos V_g , I_g , I_r , I_c , V_c y V_b y pudiendo obtener, W_b y W_g . También se tiene los datos de velocidad de sujeto y del generador, Ω_c y Ω_g . Se procesan y analizan los resultados.

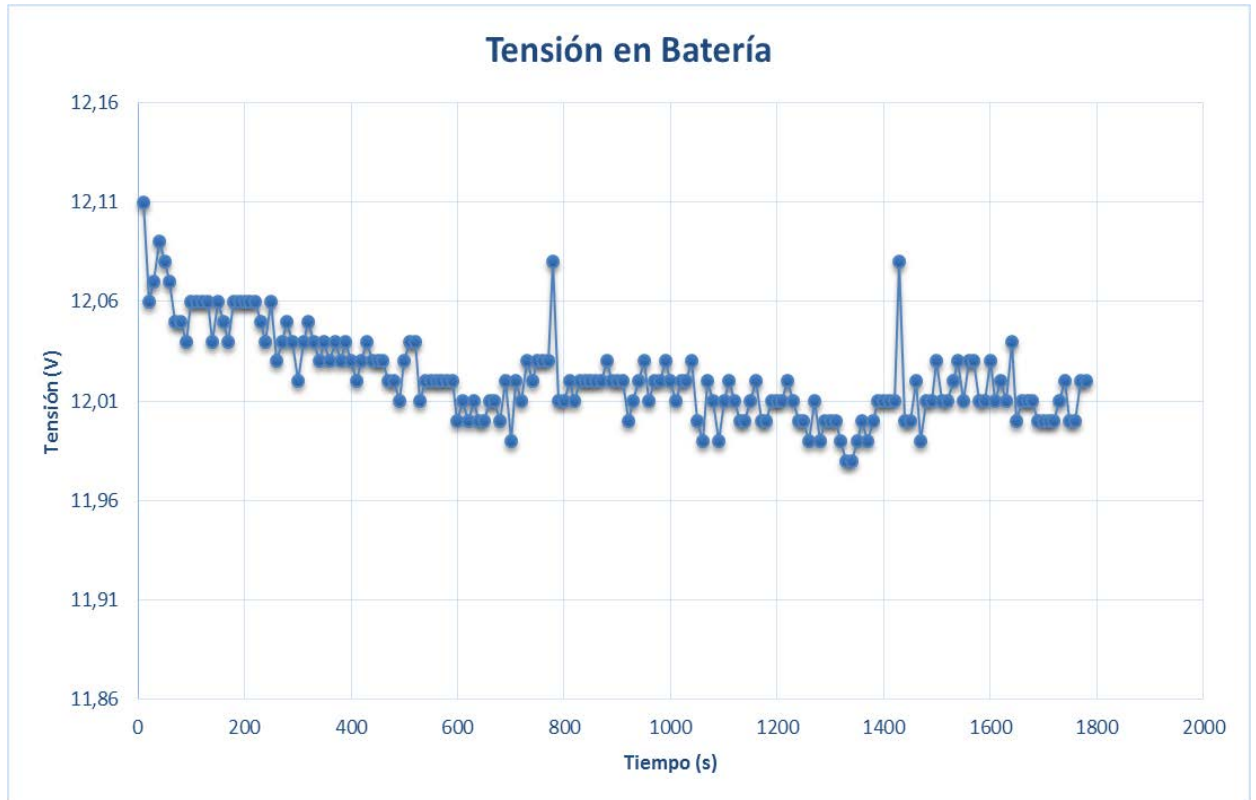


Ilustración 70: Tensión en Batería. Leds, cargador y nevera conectados.

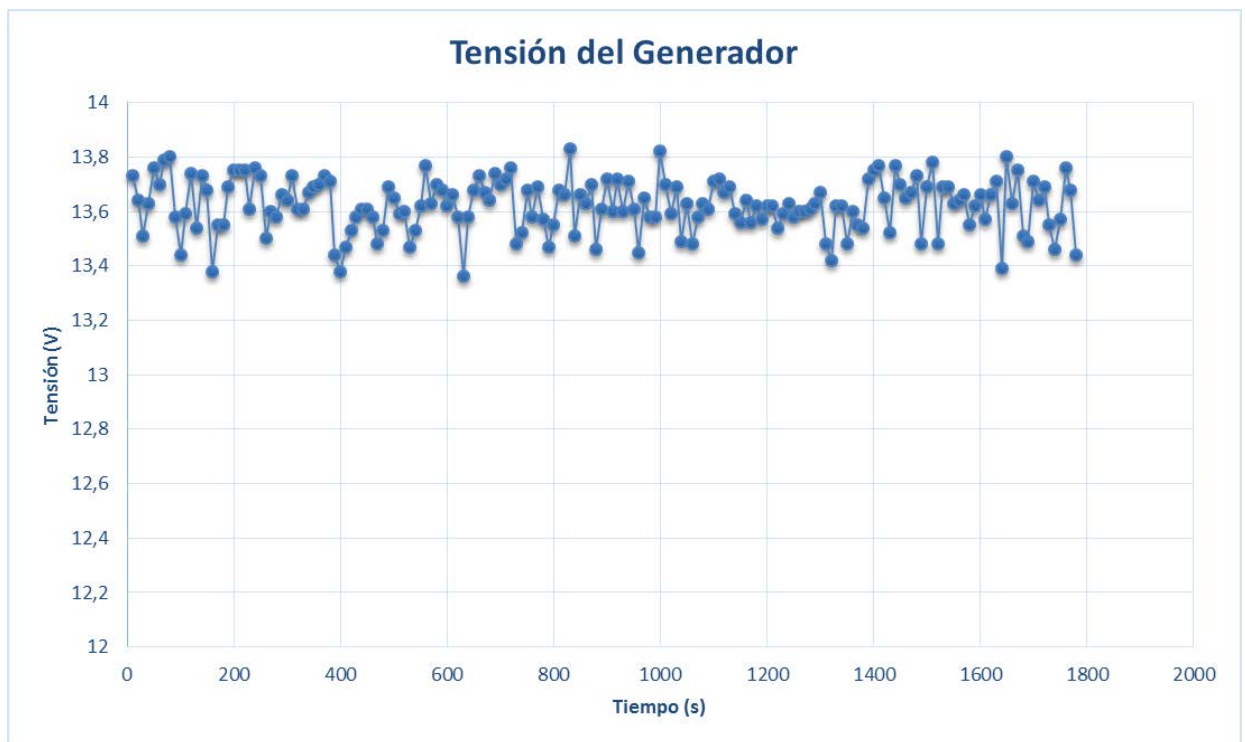


Ilustración 71: Tensión en el generador. Leds, Cargador y nevera conectados.

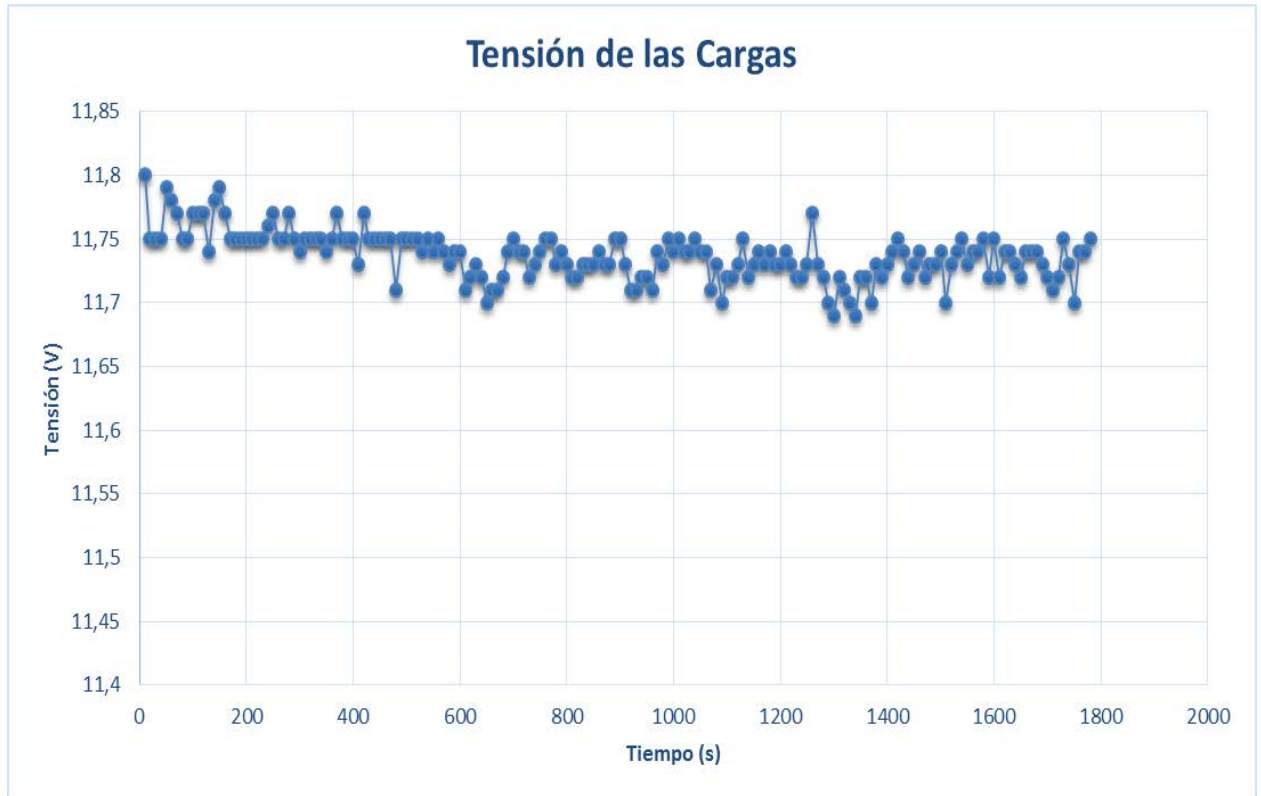


Ilustración 72: Tensión en la carga.

En ambos gráficos (generación y batería) y observando cómo fueron los otros ensayos, se puede decir que es el esperado. Al aumentar la carga, aumenta la demanda de potencia del generador, por lo que la batería se comporta como un emisor de potencia hacia las cargas en los casos en los que el generador no pueda con la potencia demandada y haciendo que su tensión decrezca a favor de la carga que la absorbe.

La carga en esta simulación tiene una tensión muy poco variable, solo la debido a los picos, está en torno a 11.8 y 11.67 Voltios. También se puede apreciar la diferencia entre generación y carga que se explicó en el apartado 3.1.3.1.

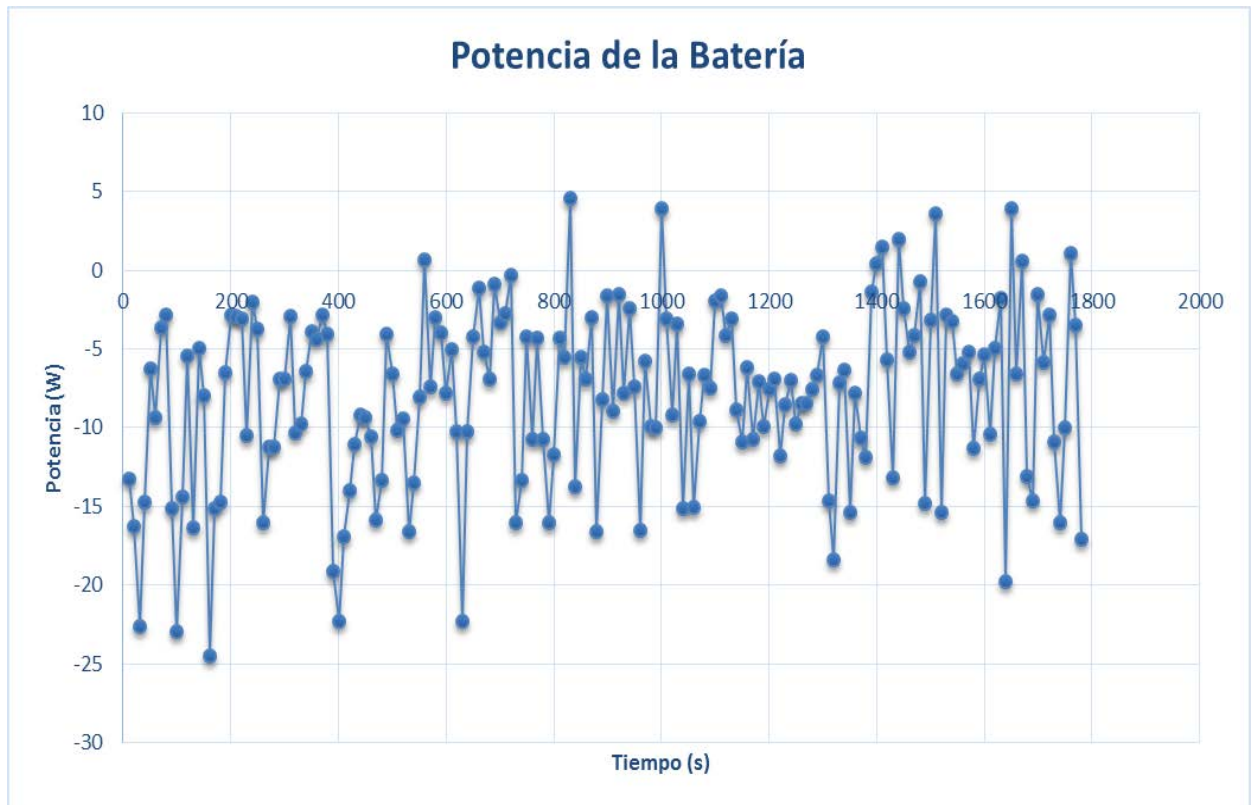


Ilustración 73: Potencia en la batería. Leds, cargador y nevera conectados.

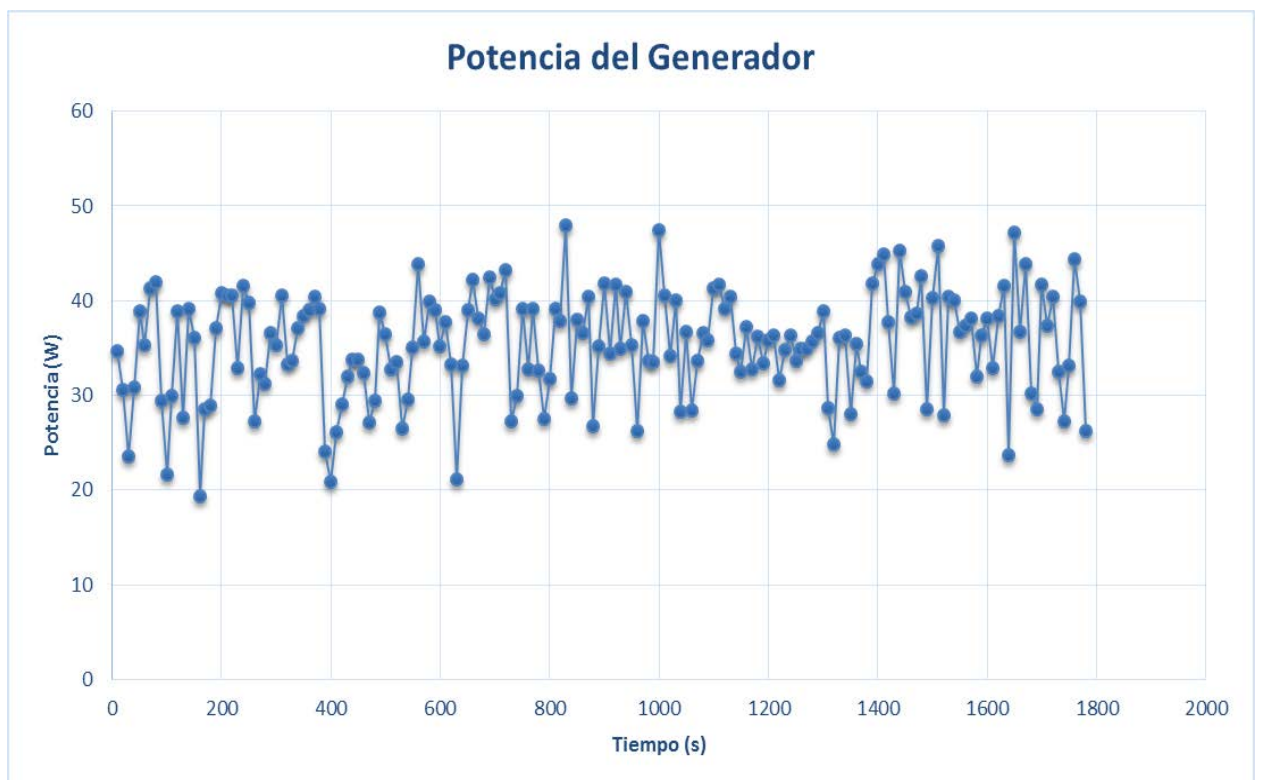


Ilustración 74: Potencia en el generador. Leds, cargador y nevera conectados.

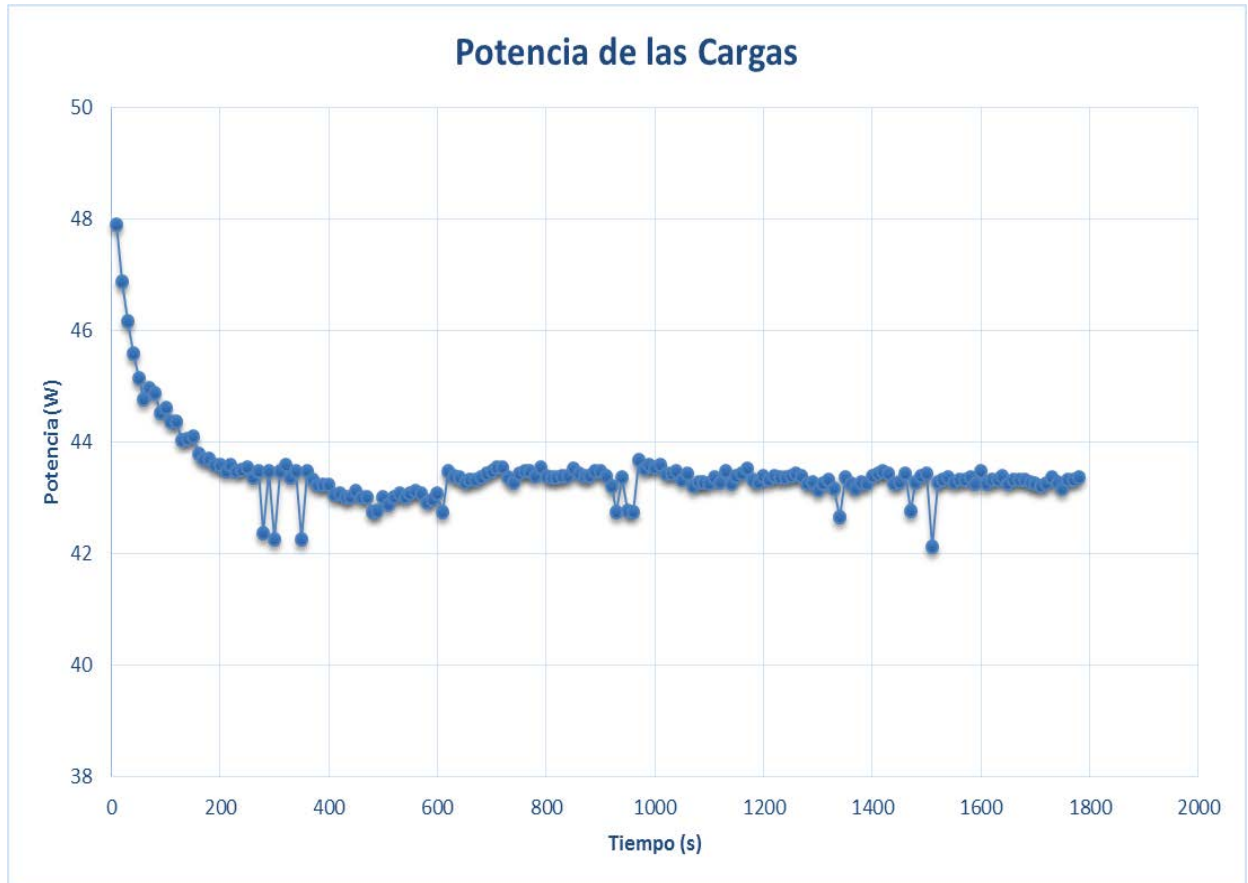


Ilustración 75: Potencia en las cargas.

En las gráficas de potencia pasa lo mismo y lo que es esperado. La batería está cediendo la potencia que le hace falta a las cargas para funcionar, por eso, los datos de potencia son negativos. Mientras que los datos de generador se mantienen en la franja de 19 y 49 W, dependiendo de la corriente de generación debido a las oscilaciones de pedaleo del sujeto.

En las cargas, vuelve a aparecer la influencia de la nevera, que al principio demanda más corriente por lo tanto, más potencia y se va acercando a valores estables en torno a 43,75 W. La demanda del cargador y de los leds es más estable, así que lo único que hace es que la ilustración75 aparezca un valor constante de potencia que haga aumentar su valor.

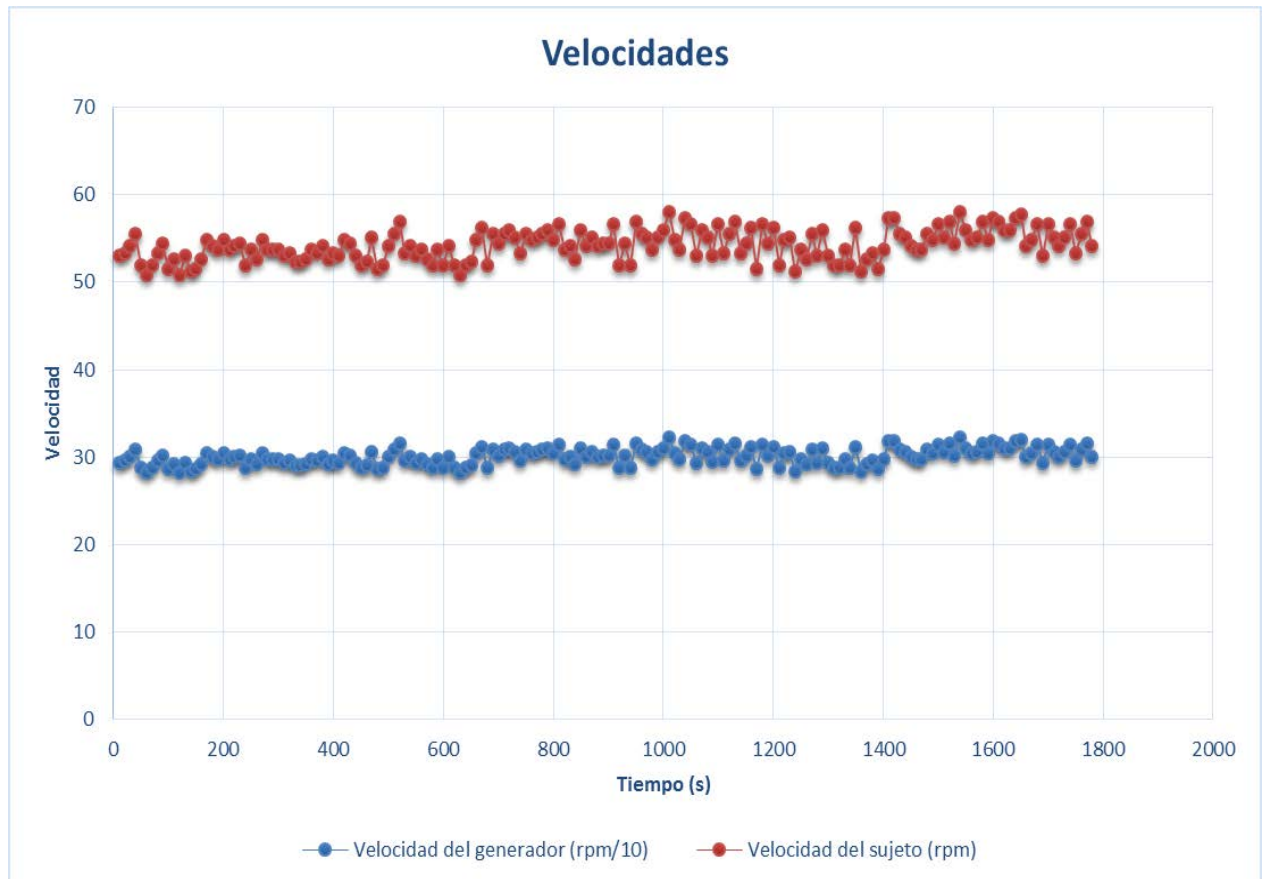


Ilustración 76: Velocidades de generador y sujeto. Leds, cargador y nevera conectados.

En las velocidades, ahora si se aprecia una constante para los valores de generación y del sujeto. En este caso, no aparece el cansancio en el sujeto en el intervalo del ensayo. Los valores medios de velocidad son 300,9 rpm para el generador y de 54,3 rpm para el sujeto. En este caso se vuelve a apreciar que la velocidad de pedaleo para este ensayo vuelve a ser superior, siendo mayor el efecto del par resistivo de las cargas que en los dos ensayos anteriores para poder lograr una tensión de generación cercana a los 13.8 V del regulador. Más velocidad, el ciclista sufriría desgaste debido a la regulación. Perderíamos la linealidad en la prueba en cuanto a velocidad se refiere y también eficiencia de la misma, ya que al regular la tensión no dejaría pasar tanta potencia de forma tan constante a las cargas y a la batería.

3.2.- Datos pedaleo motorizado.

3.2.1- Calculo estimado de la potencia del sujeto.

Para poder calcular la potencia que está generando el ciclista, se sustituye el pedaleo humano por un motor acoplado al sistema de transmisión de la bicicleta.

El objetivo ahora es tomar medidas de la potencia entregada a la carga con ambos sistemas de generación (humano y motor), para compararlos y tener una buena estimación de la potencia humana entregada por el ciclista al generador eléctrico. Se hará la comparación para varias velocidades, para tener una mejor estimación del rendimiento.

Antes de ello, mediante un ensayo a diferentes velocidades con el prototipo motorizado, se estimará el rendimiento del generador.

Del motor eléctrico se conoce el rendimiento, la potencia mecánica y la potencia eléctrica de diferentes puntos de funcionamiento.

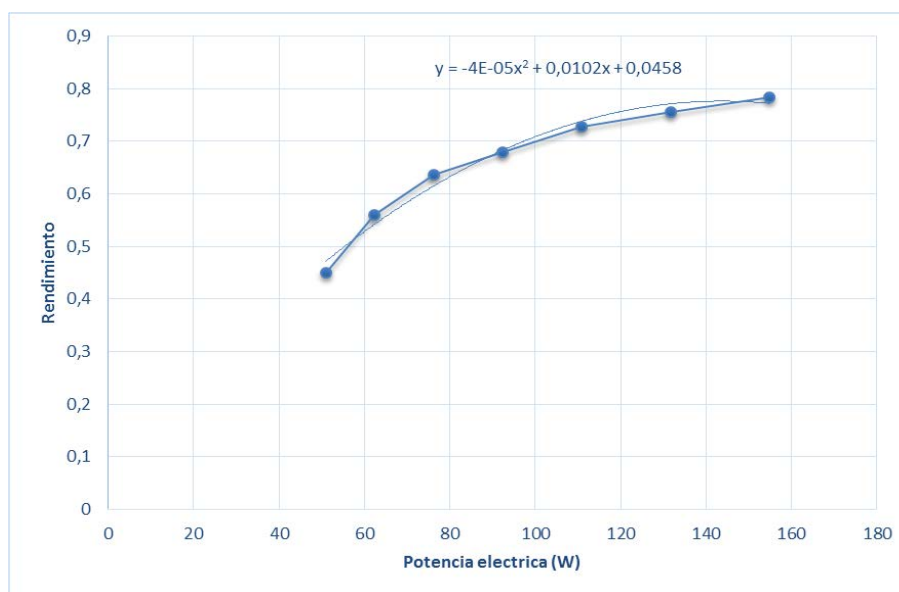


Ilustración 77: Potencia eléctrica vs rendimiento.

La carga que se conecta en este caso a la salida del generador es la nevera y los leds como sigue el siguiente esquema:

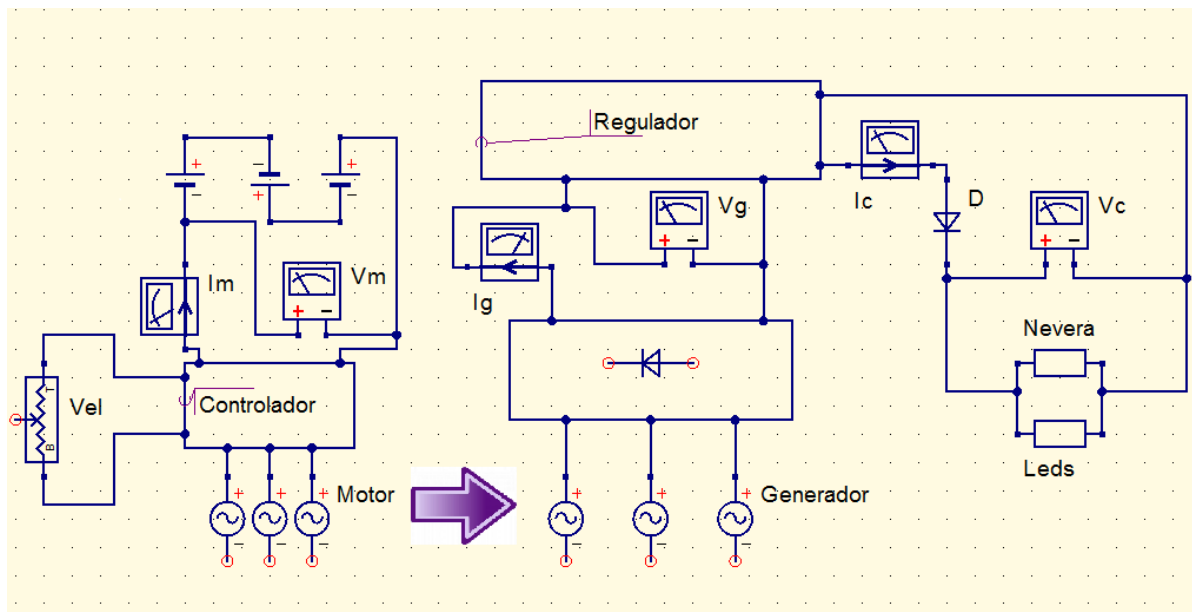


Ilustración 78: Esquema eléctrico motor más generador.

En el esquema se puede ver que los datos que se pueden obtener son los siguientes:

- V_m : Tensión en el motor.
- I_m : Corriente que absorbe el motor.
- I_g : Corriente del generador.
- V_g : Tensión motor.
- I_c : Corriente en la carga.
- V_c : Tensión en la carga.

También se mide con el velocímetro la velocidad del generador, Ω_g .

A la hora de hacer la prueba, como se dijo se fijan diferentes velocidades. Además, para cada velocidad, se toman varias muestras para calcular el promedio de potencias que se están generando a la misma Ω_g . Inicialmente se trabajará con un rendimiento estimado del sistema de transmisión.

Tras los ensayos se analizan los datos y se calcula, estimando el rendimiento en la cadena como 0,6 [9], la potencia que se transmite al generador, el rendimiento del mismo, como aparecen en las siguientes tablas.

Velocidad (rpm/10)	Potencia Eléctrica Motor (W)	Rendimiento motor	Potencia Mecánica Motor (W)	Rendimiento cadena
Para 29,6	102,3510833	0,67075128	68,65212012	0,6
Para 31,2	115,9109091	0,690677719	80,05708228	0,6
Para 32	119,7335	0,693637259	83,05161676	0,6

Tabla 5: Tabla de rendimiento de motor y cadena.

Potencia Entrada Generador (W)	Potencia Salida Generador (W)	Rendimiento Generador
41,19127207	31,98135	0,776410836
48,03424937	36,90106364	0,768224009
49,83097006	37,7526	0,757613186

Tabla 6: Tabla de rendimiento generador.

Para calcular la potencia en el generador se mide primero la potencia que le está llegando al mismo a través de la cadena, es decir, con el rendimiento del motor obtenido mediante la línea de tendencia de la ilustración 77:

$$\eta_m = -0,00004 * (P_{elec\ motor}^2) + 0,0102 * P_{elec\ motor} + 0,0458$$

La potencia mecánica que el motor transmite a la cadena se obtiene aplicando el rendimiento en el motor:

$$\eta_m = \frac{P_{mecan\ motor}}{P_{elec\ motor}}$$

Como se tiene el rendimiento de la cadena estimado y la potencia que entra al sistema, se puede calcular mediante el rendimiento de la cadena, la potencia que le llega al generador:

$$\eta_t = \frac{P_{mecan\ generador}}{P_{mecan\ motor}}$$

Con esta potencia se puede obtener el rendimiento del generador, ya que se calcula P_c que es la salida de potencia del generador:

$$\eta_g = \frac{P_c}{P_{Mecan\ generador}}$$

Siendo los datos los siguientes:

- η_m : Rendimiento del motor.
- η_t : Rendimiento de la transmisión (estimado).
- η_g : Rendimiento del generador.
- $P_{mecan\ motor}$: Potencia mecánica del motor.
- $P_{elec\ motor}$: Potencia eléctrica del motor.
- $P_{mecan\ generador}$: Potencia mecánica del generador.
- P_c : Potencia eléctrica cedida a las cargas

Una vez que se tiene el rendimiento del generador aproximado. Se procede a hacer el mismo ensayo pero de manera manual. Con el mismo esquema y sin encender el motor, se dan pedales hasta simular el ensayo motorizado. Para ello se observa la velocidad de pedaleo en el velocímetro y una vez que se obtiene muestras de cada una de las velocidades programadas para el motor se procede al análisis de los datos y se va calculando con los rendimientos la potencia mecánica que estaría proporcionando el sujeto en ese momento.

Velocidad (rpm/10)	Rendimiento generador	Rendimiento Cadena	Potencia Salida Generador (W)	Potencia Entrada Generador (W)	Potencia Sujeto (W)
29,6	0,776410836	0,6	31,108	40,06641657	66,77736095
31,2	0,768224009	0,6	35,1852	45,80070341	76,33450568
32	0,757613186	0,6	37,95	50,09152519	83,48587531

Tabla 7: Potencias del ensayo sin motor.

Con el rendimiento del generador y el de la cadena, se puede, desandando el procedimiento con motor, obtener aproximadamente la potencia del sujeto en los diferentes casos, mediante:

$$\eta_m = \frac{P_{elec\ generador}}{P_{mecan\ generador}}$$

Con la potencia mecánica del generador, se puede obtener aplicando el rendimiento a la cadena la potencia mecánica que el sujeto está aplicando a los pedales en ese momento.

$$\eta_t = \frac{P_{mecan\ generador}}{P_s}$$

Siendo:

- $P_{elec\ generador}$: La potencia eléctrica de salida al generador.
- P_s : La potencia que aporta el sujeto.

Como se explicó en el apartado 1, cabe decir que esta no es la potencia total que el sujeto está consumiendo realmente, ya que influyen muchos factores que no se pueden medir (energía para mover el peso de las piernas,...); es la potencia estimada que el sujeto está proporcionando al eje pedalier.

3.2.1.- Cálculo del rendimiento del regulador.

En el ensayo de pedaleo motorizado, se puede observar más regularidad a la hora de obtener los datos, ya que no se tienen tantos picos de datos como en el pedaleo manual. En este caso, se obtiene la potencia antes y después del regulador, por lo que sería interesante medir el rendimiento del mismo para diferentes rangos de velocidades.

Con las medias de la potencia de entrada y la de salida del regulador a las velocidades del ensayo, se pasa a calcular su rendimiento medio:

$$\eta_r = \frac{P_{elec\ generador}}{P_c}$$

- η_r : Rendimiento del regulador.

Los resultados obtenidos de rendimiento medio del regulador son los siguientes:

Velocidad (rpm/10)	Potencia Antes del Regulador (W)	Potencia Después del Regulador (W)	Rendimiento Regulador
29,6	38,19142857	31,98135	0,837396013
31,2	44,1	36,90106364	0,836758813
32	45,273	37,7526	0,833887748

Tabla 8: Tabla de rendimiento regulador.

Se puede observar un rendimiento parejo para las diferentes velocidades del estudio, el rendimiento es alto, así que las pérdidas en el regulador son mínimas, como cabía de esperar.

Si comparamos las tres últimas tablas (tablas 8,7 y 6), correspondientes a los dos ensayos realizados en este apartado, comprobaremos su coherencia. Por ejemplo, a una velocidad de 320 rpm, cuando la potencia de salida del generador es de 37,7 W, el motor está aportando 83 W, que es la potencia que aporta el sujeto en el ensayo por pedaleo humano; deducimos así que hay un rendimiento global aproximado del 45.4% en la transferencia de la energía del ciclista a la carga para este prototipo.

4.- Conclusiones finales y trabajos futuros.

Una vez expuesto todos los datos de las pruebas hechas con el prototipo descrito, es necesario hacer un análisis global de todas las aplicaciones que puede tener este prototipo para poder ayudar e incitar a los futuros estudios que se hagan sobre la generación de energía eléctrica mediante pedaleo.

En primer lugar, trataremos la parte de pedaleo manual. Tras los resultados en las pruebas con diferentes cargas reales que se conectan al prototipo, se puede llegar a la conclusión de que el sistema es válido a la tensión de 12 Voltios para cargas que requieren baja cantidad de potencia para su funcionamiento, como por ejemplo, varias lámparas leds y cargador de móvil. El generador con este tipo de cargas es capaz de abastecerlas y cargar la batería mientras ambas al mismo tiempo.

En situaciones en que la carga requiera más potencia, como son la nevera de corriente continua y el calentador de agua, tanto en solitario como en conjunción con cargas menores (leds y cargador), el prototipo no es capaz de abastecer la demanda de las cargas y a la vez cargar la batería. Como se observó, la batería cedería potencia a las cargas para abastecerlas.

Para el caso de carga de batería sin cargas conectadas, se puede ver que el sistema si es válido. Pero en caso en el que la batería esté descargada o cerca de estarlo (una tensión demasiado baja) la corriente de carga es demasiado baja (del orden de 3.16 Amperios de máxima). Por ejemplo para cargar la batería de las pruebas (44 Ah) se tardaría del orden de más 12 horas (suponiendo una carga de batería lineal). Como el proceso de carga de baterías no es lineal (a partir del 80% de carga hasta el 100% es más lento siguiendo una gráfica logarítmica para llegar al valor máximo), este tiempo sería más elevado.

En media hora de pedaleo medio aproximadamente constante se consigue elevar la tensión de la batería de 12.31 a 12.52 Voltios (incremento de 0.21 Voltios).

La descarga de la batería sobre la carga que más consume (el calentador) es de 12.50 a 12.22 Voltios (incremento de 0.28 Voltios) en 40 minutos.

Se puede afirmar que pedaleando media hora en la bicicleta se consigue calentar 0.75 litros de agua hasta la temperatura máxima que ofrece el calentador.

Como conclusión de la energía que puede suministrar el ciclista durante media hora de pedaleo a las cargas más pequeñas, que tiene una descarga de batería de 0.05 voltios de incremento en 40 minutos, decir que por ejemplo se puede llegar a tener unos 168 minutos de iluminación y alimentación de la carga de un teléfono móvil de consumo 4,4 vatios (ambas cargas), siempre manteniéndose en la zona lineal de carga y descarga de la batería.

La motorización del prototipo ayudó a poder estimar la potencia que el sujeto estaba ejerciendo sobre los pedales en un momento concreto y el rendimiento del generador y del regulador cuando se trabajaba en una zona estable de generación de potencia. Esto es difícil, ya que no se dispone del material necesario para su estimación total. Como posible estudio futuro, se puede estudiar más detenidamente cuales son las pérdidas totales en la cadena y así poder tener este rendimiento mejor.

Un ciclista que aporte 83 W, pedaleando a (58 rpm, 320 rpm en el generador...) durante 30 minutos, envía: $83 * 0.454 * 0.5 = 18.84$ Wh a la batería. Esta energía, puede emplearse a posteriori para diferentes cargas. Por ejemplo si conectas a la batería 2 leds de 2,5 W más tu móvil (consumen 0.362 A a 12,19 V aproximadamente 4.39 Wh). Teniendo en cuenta un rendimiento estimado de la batería del 80%, podrías dar más de 15 Wh, lo que supone más de 3 horas de abastecimiento.

Esta conclusión se tiene en cuenta viendo que la media de pedaleo manual para este tipo de cargas fue de 49 revoluciones por minuto de media y que en la muestra se toman 53.37, que son los más cercanos en ambas pruebas.

Para este tipo de conclusiones habría que tener en cuenta el estado de larga inicial de la batería (la de carga y la del teléfono).

Es difícil crear un prototipo eficiente para alimentar cargas en una vivienda, pero si serviría como apoyo, por ejemplo a otro sistema de generación con renovables, como es el caso de la generación fotovoltaica (no hay que olvidarse que el regulador tiene entrada de híbrida, eólica/fotovoltaica) cuando se requieran puntos de demanda de cargas alto. Una buena aplicación sería introducir el sistema de generador en una auto-caravana con alimentación fotovoltaica y diseñar un sistema de engranajes con que acoplar una bicicleta convencional al sistema generador para pedalear cuando se requiera potencia. Otra aplicación sería tener varios prototipos y acoplarlos en las salas

de ciclo indoor conectados a baterías que alimentaran, por ejemplo, leds de iluminación y otras cargas que demanden baja potencia.

Como aportaciones futuras, se puede estudiar el comportamiento del prototipo en cargas de batería conectadas en serie que sumen 24 Voltios, ya que al aumentar su tensión el generador sería capaz de suministrar la misma potencia a menor corriente, y por lo tanto, para la misma corriente (par) podría suministrar mayor potencia; el único inconveniente, es que se tiene que pedalear más rápido. El generador para llegar a 13.8 Voltios necesita girar más despacio que para llegar a 27,6 Voltios (límites del regulador). En este caso, se estaría cargando dos baterías a la vez para alimentar cargas a 12 Voltios.

También sería interesante ver repetir todas las pruebas que se realizaron en este trabajo, pero esta vez con el prototipo motorizado, y así comparar los resultados.

Otros trabajos futuros podrían realizarse con otra tecnología de las baterías y hacer el estudio de su carga y descarga. Por ejemplo, para baterías de litio, que aceptan más corriente de carga.

Bibliografía.

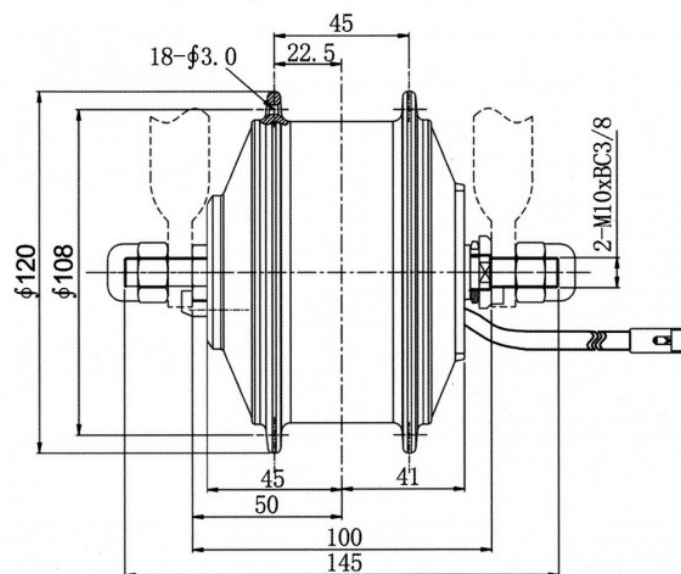
- [1] Tamara Dean, “The Human-Powered Home”. New Society Publishers, 2008.
- [2] Ulpiano Ruiz-Rivas, Lucía Blanco Cano, Antonio Soria Verdugo y Mónica Chinchilla, “Modelización de bombas manuales para el abastecimiento de agua”, VI congreso 2013.
- <http://www.sextocongresocud.es/index.php/actas-del-congreso/papers/papers-It3/>
- [3] Jesús Fraile Mora, “Máquinas eléctricas”. McGraw-Hill-Interamericana de España, 2008. Capítulo 5.
- [4] M.H. Rashid, “Electrónica de potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones”. Pearson Educación, 2004. Capítulo 3: 3.7; 3.8. Capítulo 6: 6.8.1; 6.8.2; 6.8.3.
- [5] Motores eléctricos bicicletas.
- <http://www.ciclotekstore.com>
- <http://www.motorparabicicleta.com>
- <http://ruedaselectricas.com>
- [6] Imagen rectificador: <http://es.slideshare.net/aeronauta2/2-2-circuitosrectificadorescondiodos>
- [7] David Rebollal Jordán, “Diseño de un generador de baterías mediante generador de imanes permanentes accionado desde bicicleta estatica”. Universidad Carlos III de Madrid, 2014.
- [8] María Isabel Madrid Madrid, “Ensayo, modelado y motorización de bombas de mecate”. Universidad Carlos III de Madrid.
- [9] Alberto Pedro Ortega Izquierdo, “Diseño, Construcción y Caracterización de un Sistema de Carga de Baterías Mediante Pedaleo”, Universidad Carlos III de Madrid.
- [10] Aplicación móvil:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tina.time_lapse&hl=es

Anexos.

Anexo 1: Hoja de características del motor eléctrico

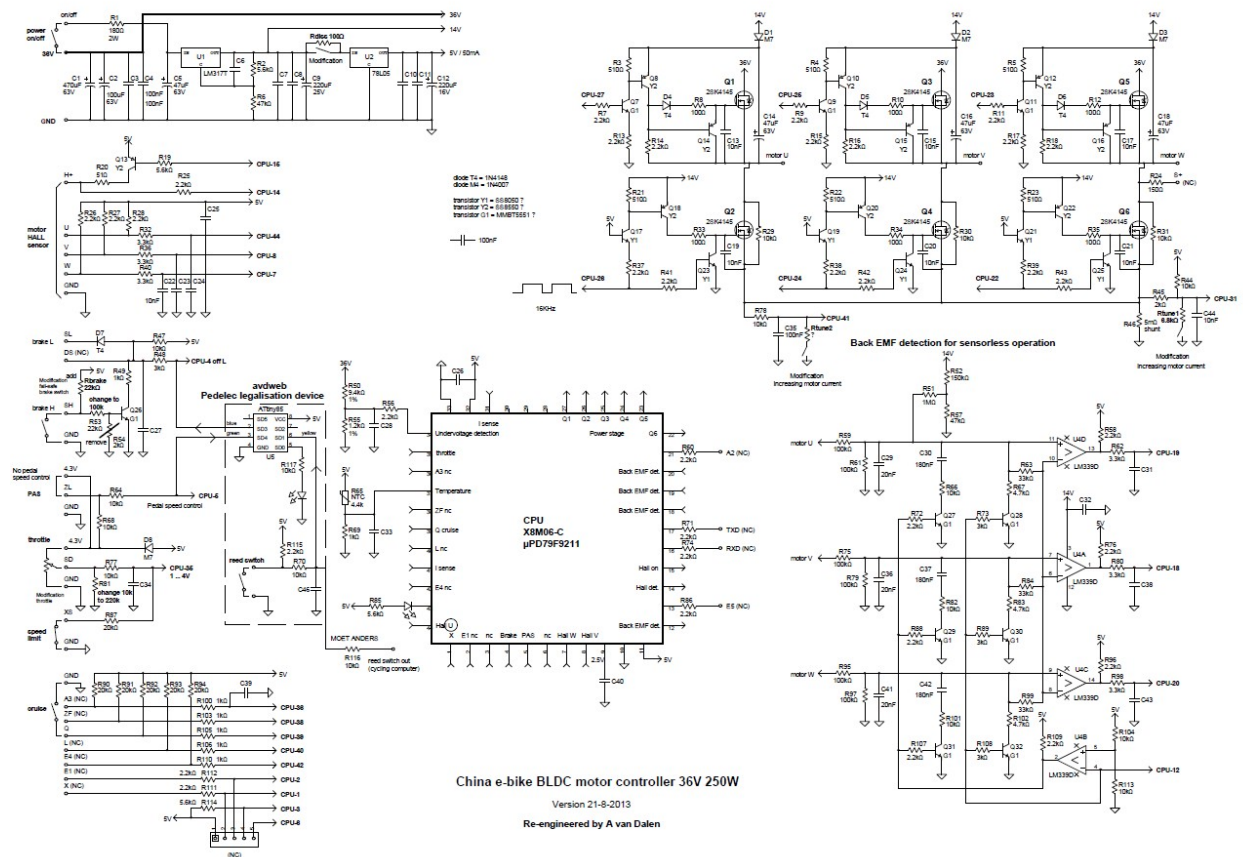
Motor con control de velocidad/par/posición integrado. Alimentación de 36 VDC (Voltaje Corriente Directa plana sin cambios ni huecos) y 2 sentidos de giro, encoder incremental integrado.

W_e (W)	W_m (W)	η
51,012	22,966	0,450
62,388	34,903	0,559
76,212	48,433	0,636
92,232	62,761	0,680
110,844	80,716	0,728
131,832	99,602	0,756
154,800	121,244	0,783





Anexo 2: Esquema del controlador del motor





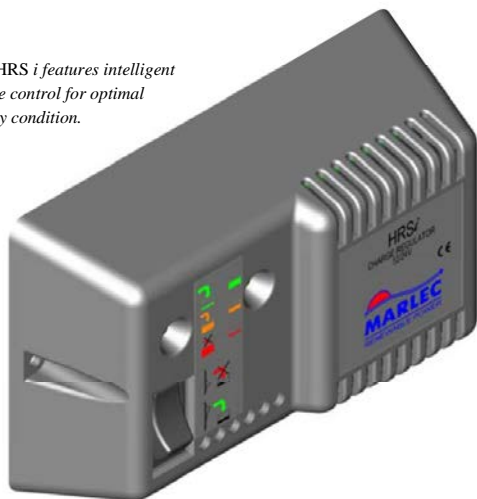
Anexo 3: Hoja de Características del regulador HRSi.

HRSi Charge Regulator

NEW for 2008
Latest technology wind
/ solar hybrid voltage
regulator !

Marlec's HRSi Charge Regulator once again leads the small wind turbine industry in technology and product features. The HRSi conveniently brings together a **Rutland Windcharger voltage regulator** with an input for up to **160Watts of photovoltaic panels** in a single easy to install device. **Multi-stage charge** control delivers appropriate charge levels required to ensure your batteries get the maximum power they are able to retain and remain float charged.

New HRSi features intelligent charge control for optimal battery condition.



Technical Features

- ❑ **Pulse Width Modulation (PWM)** regulation is now more finely controlled using the latest programmable microcontrollers. PWM regulation monitors battery voltage to prevent overcharge. As peak voltages are reached the HRSi tapers the input charge from the wind & solar chargers gradually reducing input to float stage level. This feature gradually reduces the speed of the turbine to an eventual "idle" thus extending the working life of the windcharger. As the battery discharges the wind turbine responds by increasing speed to deliver more power. Solar power is also tapered in the same way.
- ❑ **Intelligent Microcontroller system** is programmed to deliver bulk and float phase charging. This feature ensures that batteries are optimally charged, especially when unattended.
- ❑ **LED indicators** keep the user informed about battery voltage levels and charging status

- ❑ **Manual shutdown switch** allows the user to stop the wind & solar chargers from delivering power to the battery if required. The windcharger slows to a "idle" in this mode.
- ❑ Easy to connect terminals to interface windcharger, solar panels & battery connection.
- ❑ **Temperature compensation** automatically adjusts the settings of the regulator to take account of varying temperatures thus ensuring maximum charging efficiency in all conditions.
- ❑ Built in blocking diode avoids conflict with other charging sources to the same battery. (1)
- ❑ **Automatic voltage detection** for 12V or 24V systems (2)
- ❑ Built-in charge fuse protects the wiring circuit in the event of accidental reverse polarity connection.
- ❑ User voltage programme feature allows resetting of voltage cut in levels. Requires a variable DC power supply.

Notes:

1. Solar panels must be fitted with diodes
2. Batteries must be connected first for auto detection.

Technical Data

Input Capacity:

1 x Rutland 913 or FM910-3 Furlmatic or Rutland 503 Windcharger plus 160Watts peak rated solar panels maximum.
For connection to a single battery bank (wired in parallel for 12 V and in series for 24 V).

LED Display:

Tri-Colour LED indicating battery voltage:		Tri-Colour LED indicating charging status:	
Flashing Red	Battery Very Low	Green	Charging
Red	<12V (24V)	Amber	Charging & Regulating
Amber	>12V & <13V (>24V & <26V)	Red	Regulating
Green	>13V (26V)		

Dimensions: Product 130 x 80 x 42 mm 185 g

Packaged 160 x 110 x 60 mm 255 g



Designed & Manufactured in the UK by:
Marlec Engineering Co. Ltd
Rutland House, Trevithick Rd, Corby, NN17 5XY
Tel: +44 (0)1536 201588 Fax: +44 (0)1536 400211
Email: sales@marlec.co.uk www.marlec.co.uk



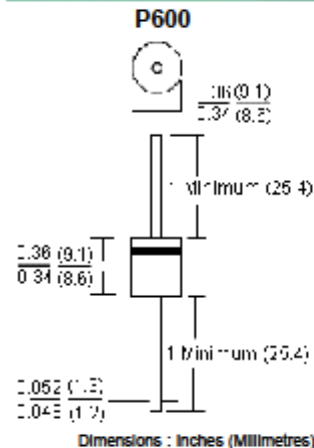
Anexo 4: Diodo protector

6A Power Diodes

P600 Series



Standard Axial Rectifiers



Mechanical Data

Case	: Moulded plastic, P600
Terminals	: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208
Polarity	: Colour band denotes cathode
Mounting Position	: Any
Weight	: 2.1 g

Features:

- High surge current capability
- Void-free plastic in a P600 package
- High current operation 6 Amperes at $T_A = 55^\circ\text{C}$
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

At $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified. Single phase, half-wave, 60 Hz, resistive or inductive load

All values except maximum RMS voltage are registered JEDEC parameters

	P600A	P600D	P600G	P600K	P600M	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	200	400	800	1,000	V
Maximum RMS Voltage	35	140	280	560	700	
Maximum dc Blocking Voltage	50	200	400	800	1,000	
Maximum Average Forward Rectified Current $T_A = 55^{\circ}\text{C}$	6					A
Maximum Overload Surge Current at 1 Cycle (Note 1)	400					
Maximum Forward Voltage at 6 A dc	1					V
Maximum dc Reverse Current at $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	10					μA
Rated dc Blocking Voltage at $T_A = 100^{\circ}\text{C}$	1					mA dc
Typical Junction Capacitance (Note 3) C_J	150					pF
Typical Thermal Resistance (Note 2) $R_{\theta JA}$	20					$^{\circ}\text{C} / \text{W}$
Typical Thermal Resistance (Note 2) $R_{\theta JL}$	4					
Operating Temperature Range	-55 to 150					$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range						

Notes

1. Peak forward surge current, per 8.3 ms single half-sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)
2. Thermal resistance from junction to ambient and from junction to lead at 0.375 inches (9.5 mm) lead length PCB mounted with 1.1 x 1.1 inches (30 x 30 mm) copper pads
3. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4 volts

6A Power Diodes

P600 Series



Rating and Characteristic Curves

Fig. 1-Typical Reverse Characteristics

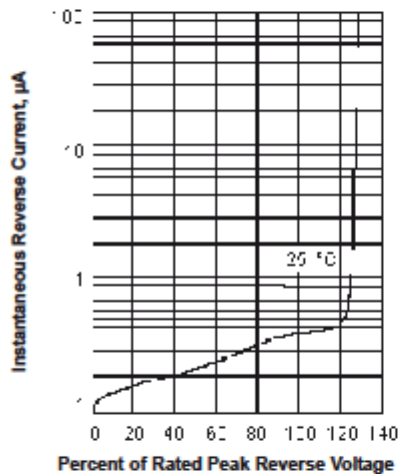


Fig. 3-Typical Transient Thermal Impedance

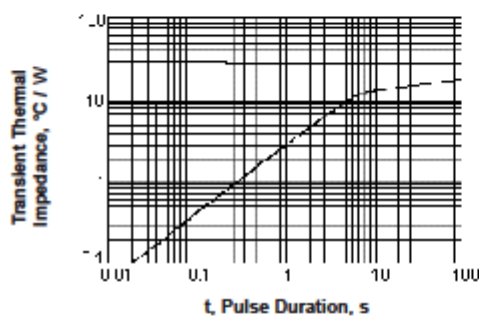


Fig. 2-Forward Derating Curve

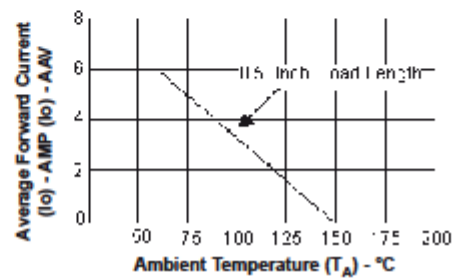


Fig. 4-Typical Instantaneous Forward Characteristics

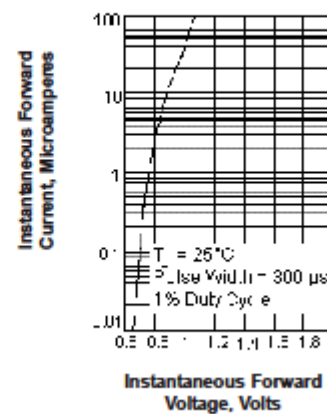
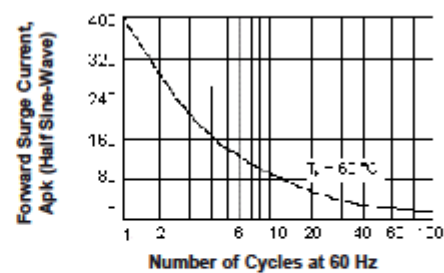


Fig. 5-Maximum Overload Surge Current





6A Power Diodes

P600 Series



Specification Table

V_{RRM} Maximum (V)	I_T Average (A)	I_{TSM} (A)	Plastic Package	Part Number
1,000	6	400	P600	P600M
400				P600G
800				P600K
50				P600A
200				P600D

Important Notice : This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2012.



Anexo 5. Esquema del Dispositivo de toma de datos.

